Transport Canada
Development

Transports Canada
Développement

TP 6041E

Comparative Technology Assessment: Montreal–Mirabel–Ottawa High Speed Ground Transport

Summary Report

Prepared for
Transportation
Development Centre

Transport Canada

DECEMBER 1984

Canada

APR 22 1985

Canatrans Project No. 37229 TP 6041E

COMPARATIVE TECHNOLOGY ASSESSMENT: MONTREAL - MIRABEL - OTTAWA HIGH SPEED GROUND TRANSPORT

Summary Report

Bernard-André Genest

This research was conducted under Supply and Services Canada Contract No. OSD82-00061, on behalf of the Advanced Technology Division, Transportation Development Centre, Transport Canada

Canatrans Consultants Ltd., Montreal (Quebec) Canada
with
Transrapid International, München (Federal Republic of Germany)

December 1984

This report resulted from research conducted through Canatrans Consultants Ltd. with Transrapid International. The report represents the views of the authors and does not necessarily have the endorsement of the performing organizations or that of the sponsoring agency.

Également disponible en français sous le titre "Évaluation comparative de technologies: transport terrestre à grande vitesse entre Montréal-Mirabel-Ottawa, rapport sommaire". (TP6041F)

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No	3. Recipient's Catalogue No.
TP 6041E	4609	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Comparative Technology Assessment: Montreal - Mirabel - Ottawa High Speed Ground Transport Summary Report	December 1984
	6. Performing Organization Report No. 3.7229
7. Author(s) Bernard-André Genest	8. Transport Canada File No. D1465-356-2
9. Performing Organization Name and Address Canatrans Consultants Ltd. 1130 West, Sherbrooke Street Montreal, Quebec, Canada H3A 2R5	10. DSS File No. 10SD.T8200-2-2503
	11. DSS or Transport Canada Contract No. OSD82-00061
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) Transport Canada 1000 West, Sherbrooke Street, suite 2421 Montreal, Quebec, Canada H3A 2R3	13. Type of Report and Period Covered Summary Report
	14. Sponsoring Agency Code
15. Supplementary Notes This is a summary of the report entitled "Comparative Technology Assessment: Montreal-Mirabel-Ottawa High Speed Ground Transport, Final Report" (TP5457E)	16. TDC Project Officer Maurice Audette

17. Abstract

This report presents a comparative assessment of two technologies for high speed ground transport (HSGT): an electrified rail system using conventional wheel-on-rail technology with a maximum operating speed of 200 km/h, and an advanced system using magnetic attraction for vehicle support, guidance, and propulsion, with a maximum operating speed of 400 km/h.

The comparison is based on a given hypothetical application: service between Montreal and Ottawa, a distance of some 200 km, through Mirabel International Airport. Based on their technical characteristics and performance, a conceptual system design was developed for each technology, against common service specifications formulated to reflect the requirements of that application.

Detailed capital and operating cost estimates are presented. The estimated ticket cost is used as a basis for a comparative financial analysis; the sensitivity of that cost to the relevant economic parameters is explored. The report also contains an evaluation of the differences in impacts between the two technologies with emphasis on the environmental insertion of guideways for HSGT systems.

18. Key Words	19. Distribution Statement
High Speed Ground Transport, High Speed Rail, Maglev, Intercity Passenger Transport, Montreal, Ottawa, Financial Analysis, Impact Evaluation, Technology Assessment	Limited number of copies available from TDC

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
unclassified	unclassified	68	

TDC CDT 79-005

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 6041E	4609	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Comparative Technology Assessment: Montreal - Mirabel - Ottawa High Speed Ground Transport Rapport Sommaire	Décembre 1984
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant 37229
7. Auteur(s) Bernard-André Genest	8. N° de dossier Transports Canada D1465-356-2
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant Canatrans Consultants Ltée 1130 ouest, rue Sherbrooke Montréal, Québec, Canada H3A 2R5	10. N° de dossier — ASC 10SD.T8200-2-2503
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada OSD82-00061
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Centre de développement des transports (CDT) Transports Canada 1000 ouest, rue Sherbrooke, suite 2421 Montréal, Québec, Canada H3A 2R3	13. Genre de rapport et période visée Rapport sommaire
	14. Code de l'organisme parrain
15. Remarques additionnelles Ce rapport est un résumé du: "Comparative Technology Assessment: Montreal-Mirabel-Ottawa High Speed Ground Transport, Final Report" (TP5457E)	16. Agent de projet — CDT Maurice Audette

17. Resume

Ce rapport présente une évaluation comparative de deux technologies de transport terrestre guidé à grande vitesse: un système ferroviaire électrifié utilisant la technologie fer-sur-fer conventionnelle et doté d'une vitesse d'exploitation maximale de 200 km/h d'une part; et un système à technologie avancée utilisant des principes d'attraction magnétique pour la sustentation, le guidage et la propulsion du véhicule, d'autre part, ce dernier étant capable d'une vitesse d'exploitation maximale de 400 km/h.

La comparaison est basée sur une application hypothétique: un service grande vitesse entre Montréal et Ottawa, une distance de 200 km environ, via l'aéroport international de Mirabel. A partir de leurs données techniques et de performance, on a effectué pour chaque technologie la conception schématique d'un système complet à des normes de service communes, formulées pour répondre aux exigences de la clientèle envisagée.

Des estimations détaillées des coûts de mise en oeuvre et d'exploitation sont présentées dans le rapport, de même qu'une analyse financière comparative basée sur une évaluation du coût du titre de transport pour chaque système. On analyse la sensibilité de ce coût à des variations de la valeur des principaux paramètres économiques pertinents. Le rapport comprend aussi une évaluation des deux technologies quant aux différences dans leurs impacts; on y met l'accent sur les difficultés d'insertion dans le milieu des couloirs de circulation des systèmes de transport terrestre grande vitesse.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Transport terrestre à grande vitesse, Transport Ferroviaire, sustentation magnétique, Transport Interurbain, Montréal, Ottawa, Evaluation d'impacts comparaison technologique.	Le CDT dispose d'un nombre limité d'exemplaires

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
aucune	aucune	68	

CDT/TDC 79-005

1.

Objectives and Methodology

1. OBJECTIVES AND METHODOLOGY

This study is concerned with high speed ground transportation systems (HSGT) used for intercity passenger transport.

The primary objective of the study is to perform a comparative assessment of two different HSGT technologies: a rail system designs along conventional principles and a magnetic levitation system. This comparative assessment must identify, evaluate, and analyze the major differences between the two technologies, accounting for their levels of service, capital costs, annual costs, and impacts.

The secondary objective of the study is to research and document comprehensive, state-of-the-art, technical and cost data for both systems, and to present that data in order to facilitate its use by transportation planners and decision-makers.

Fulfillment of these objectives required a clear understanding of the essential differences between magnetic levitation and conventional railway technologies. As this study is not a planning study, no attempt was made to formulate synthetic judgements as to (1) whether one or both systems is desirable, justified, or justifiable and/or (2) which system is superior or preferable overall.

For the comparitive assessment to maintain the correct focus and emphasis, all non-essential elements were given only the minimum reasonable attention, given the scope of the study: the objective of the study was not to generate an exhaustive enumeration of all system components, nor was it to prepare a comprehensive estimate of all capital and annual costs.

For realism in the the comparison, the study took into consideration the contextual characteristics of a specific application: its geography, topography, service requirements, etc. The Terms of Reference specified, as the application to be analyzed, a high speed service between Ottawa and Montreal with (at least) one intermediate station at Mirabel International Airport.

Although it may limit the generalization of the conclusions, the use of a given corridor as a test-bed presents significant advantages for the study. In particular, this approach facilitates the development of a well-adapted system design that takes into consideration physical as well as institutional and other constraints. It thus provides a good measure of a technology's flexibility and responsiveness to given conditions.

The approach used in the study made maximum use of available data and complementary data was obtained from original sources whenever possible. This provided a more credible basis for analysis and made it easier to organize and to document the results of the study for comparison with those of other studies.

The method used in the comparative assessment consisted of the following steps:

- definition of a technology reference;
- traffic forecasts;
- formulation of common service specifications;
- preliminary system design, adapted to the application;
- estimation of capital and operating costs;
- impact evaluation;
- summary comparative assessment.

The purpose of defining a reference was to fix, at the outset, the most significant technical parameters that characterize each technology; in other words, to identify precisely what was being compared: dimensions and clearances, speed, acceleration, deceleration, curveability, gradeability, weight, and power requirements, etc. These parameters are the basis in establishing system requirements, configuration, and performance.

Based on the assumed performance, traffic forecasts were prepared for each HSGT technology. This was done by market segment: intercity, airport access, etc. The data was not collected. Instead, new forecasts were prepared by modifying available forecasts, to reflect the performance of each technology and the observed elasticity of Montreal-Ottawa travel demand to travel time.

Common service specifications were developed to be used as a basis for defining a system for each technology. Common service specifications were used to eliminate from the comparison any advantage or preference factor that was not technology-related.

A complete system was then defined (conceptually) for each technology; it met (or exceeded) the service specifications. This definition covered all system components: general configuration, routing, fleet size, track or guideway layout, infrastructure, structures and bridges, power and control equipment, stations, facilities and auxiliary equipment, as well as operation and maintenance procedures and personnel. Since they resulted form common specifications, both system designs were comparable or identical in several key service parameters, such as frequency and number of stations.

An estimate of capital and annual costs was developed for each system, using the same assumptions and principles. A financial analysis was performed on each system, to determine the revenue requirements necessary for profitable and solvent operation. The resulting estimated

ticket cost was analyzed for its sensitivity to variations in key economic parameters: general and component cost escalation, financial parameters, traffic volume, and changes in capital or annual costs.

The same analysis was performed for "optimized" systems where double track or guideway was provided only inasmuch as necessary for the requirements of the Montreal-Mirabel-Ottawa traffic alone.

Finally, major differences in impacts between the two systems were identified. Impacts considered included technical spin-offs, energy consumption, employment creation and socio-economic, aesthetic, and environmental factors.

2.

Technology, Service, and Traffic

2. TECHNOLOGY, SERVICE, AND TRAFFIC

The two technologies compared are the magnetic levitation and the conventional wheel-on-rail technology; henceforth, these two HSGT systems will be referred to as "Maglev" and "Rail" (capitalized).

For magnetic levitation, the technology reference used is the TransRapid system developed in the Federal Republic of Germany, and for which a testing establishment has recently been completed at Emsland in Northern Germany, which includes a 32-km test track. The Deutsche Bundesbahn and Deutsche Lufthansa organizations participate in managing the test facility and supervising the tests.

For wheel-on-rail, the technology reference is a system using electric multiple units, with a maximum operating speed of 200 km/h; the system as defined does not refer to a specific vehicle, as several trains exist that offer or exceed the required performance.

2.1 Maglev Technology

The basic Maglev vehicle, shown in Figure 2-1, is made up of two identical sections that can be uncoupled for maintenance. This bi-directional consist is 54 m long, 3,7 m wide, and 4,2 m high. It can be lengthened by introducing up to 4 intermediate sections, identical in dimensions and capacity, between the two end sections.

The vehicle envelopes the guideway and protrudes 3,2 m high above its surface (Figure 2-2). Levitation and guidance forces are provided by controlled electromagnets located in the bogies (four bogies in each vehicle section) and by equipment mounted on the guideway; the system uses magnetic attraction principles for levitation and propulsion.

Propulsion is provided by a synchronous linear motor; its active long stator consists of two groups of steel laminations intertwined with cable windings and fixed to the guideway. Current received at 115 kV 60 Hz is transformed and rectified to 4-6 kV d.c., 0-250 Hz in wayside substations. Propulsion energy is provided to the vehicle by a field wave generated by the stator; there is no mechanical contact for power collection.

To maintain the stringent positional tolerances necessary for efficient operation of the levitation system, the Maglev vehicle is carried on a rigid structure; its usual design is a box girder made of prestressed concrete. The standard beam is 25 m long and 1,8 m deep.

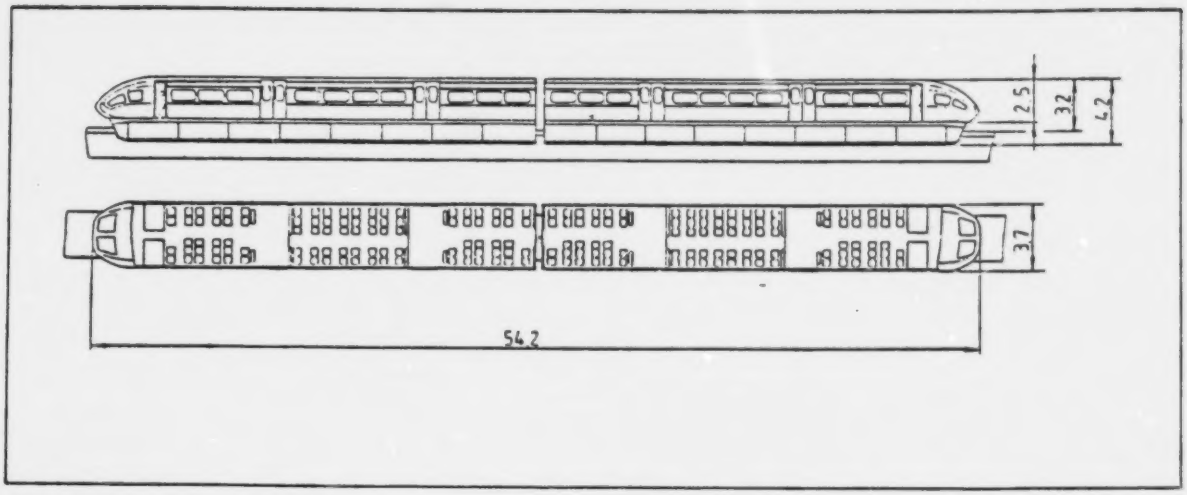
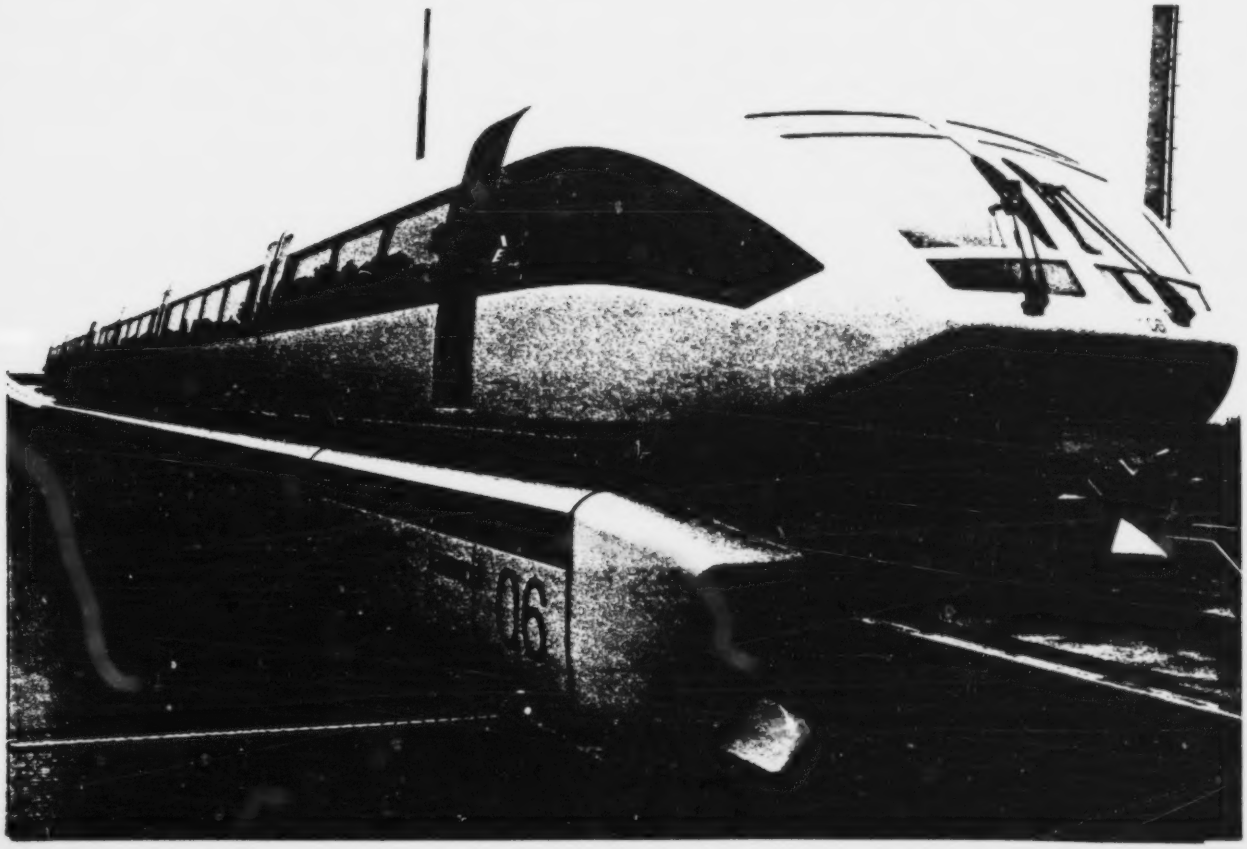


Figure 2-1 Maglev Vehicle: General View and Main Dimensions



When cross roads are frequent, the guideway is normally built on piers, with a clearance of 5 m between the terrain and the underside of the beam this eliminates the need for numerous grade-crossing structures. The guideway can also be built at grade or in a tunnel, the beam then resting on slabs.

The maximum operating speed is 400 km/h; at that speed, energy requirement for vehicle propulsion, levitation and guidance is 64 Wh/seat-km on level tangent for the 192-seat basic vehicle.

The guideway geometry is dictated by technical constraints and comfort requirements. With a 12° superelevation and limiting lateral acceleration to 1,0 m/s^2 for comfort, the minimum radius of horizontal curves is 4 000 m at 400 km/h and that of vertical curves, 25 000 m. The maximum gradient is 3,5% for long distances and 5% for short distances. In urban areas, where maximum speed cannot be reached due to short distances between stations, speed is normally 200 km/h; this reduces aerodynamic noise and permits greater flexibility in guideway touting.

2.2 Rail Technology

Several rail systems are currently in operation that offer the performance specified in this study. Except for the vehicle, most of these systems have several similarities; these common points were used to define the Rail technology.

As consistent high speed operation with diesel equipment would unduly affect the track, the Rail technology will be electrified. Power received from the Utility at a very high voltage (115 kV or 230 kV, 60 Hz) will be transformed to 25 kV and fed to the train from an overhead catenary. The catenary structure will normally be flexible, but catenary bridges will be used when there are 3 or more tracks in the right-of-way.

Frequent operation at 200 km/h practically implies the elimination of all grade crossings. To maintain the high level of service envisioned, the Rail system will be operated on an exclusive double track.

The track infrastructure will be designed to ensure reasonable maintenance requirements despite the high speed and frequency of service. The quality of roadbed and thickness of ballast and sub-ballast will be consistent with these requirements.

The vehicle would be engineered and built in Canada. The self-propelled and bi-directional consist would normally be uncoupled only for maintenance. The configuration could be similar to a powered LRC coach, as an electric version of that train is envisioned. Each car would be 26 m long and 3,2 m wide. The assumed performance is a composite of the observed performance of existing foreign vehicle designs.

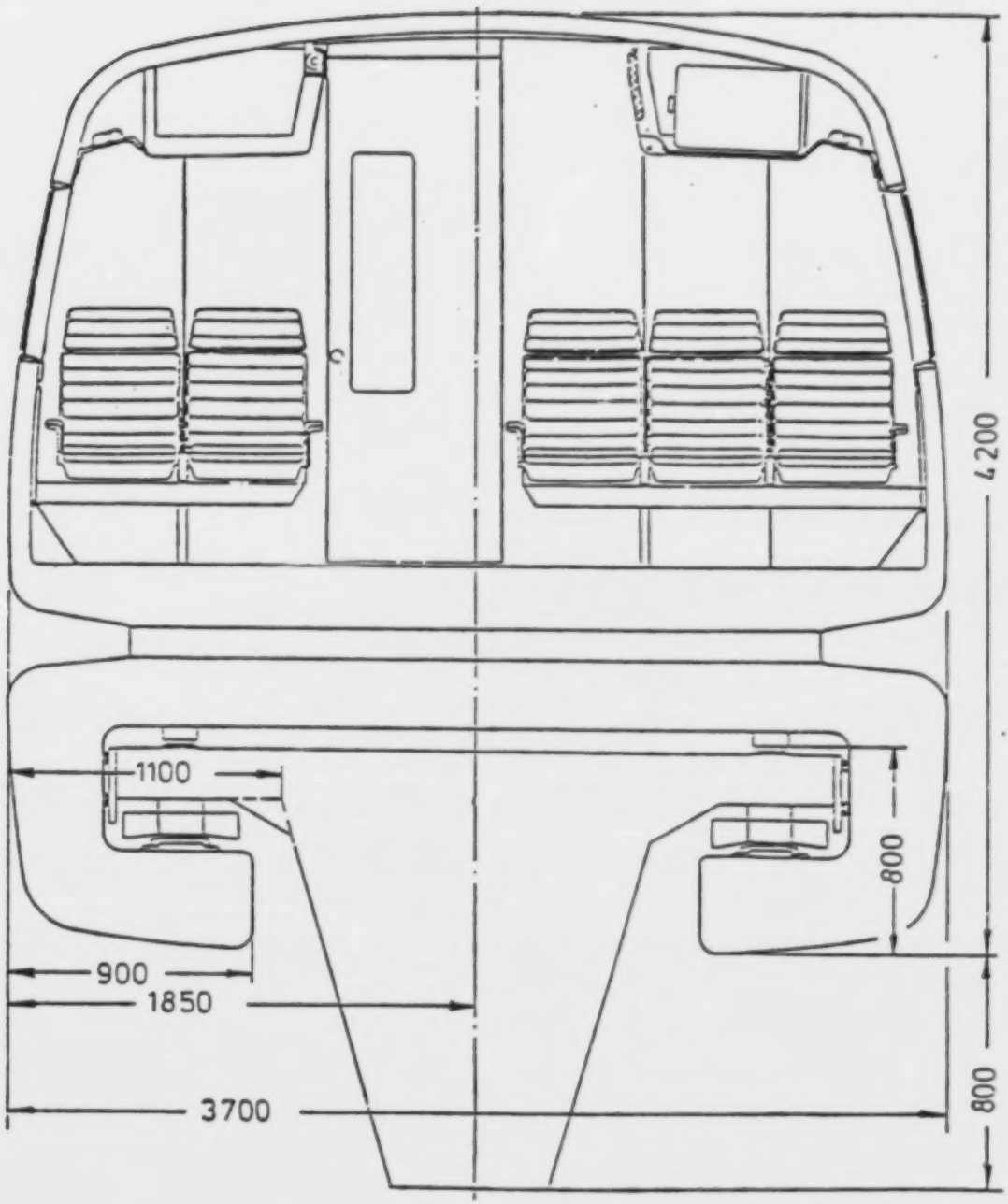


Figure 2-2 Cross-Section of the Maglev Vehicle on the Guideway

The maximum operating speed was given as 200 km/h; at that speed, energy requirement for vehicle propulsion is in the order of 46 Wh/seat-km on level tangent for four 75-seat cars.

The track geometry is dictated by technical constraints and comfort requirements. With a maximum superelevation of 6° and a lateral acceleration of limited to 1,0 m/s^2 for comfort, the minimum radius of horizontal curvature is 2 400 m and that of vertical curvature is 20 000 m. The maximum gradient is 2,5%.

2.3 Service Specifications

To establish service specifications, the target market was first identified from an analysis of observed travel demand and modal split. Second, the specific needs of the target market were identified and the corresponding service strategy was developed. Third, this strategy was translated into service specifications to be used as common performance guidelines in system definition for both technologies.

The potential market for a Montreal-Ottawa HSGT service consists of the following segments:

- intercity traffic: the new HSGT service would replace the existing rail service and also attract passengers from competing modes: air bus, and automobile;

- airport traffic, consisting of:
  . Mirabel air travelers originating or terminating in Montreal;
  . Mirabel air travelers to or from Ottawa;
    .. using a ground access mode;
    .. using connecting air services; it is assumed these would be abondoned upon HSGT implementation;
  . air travelers connecting between Dorval and Mirabel;

- induced traffic: persons using the HSGT for a trip they would not have made in its absence;

- through traffic: travelers using the HSGT on a leg of a longer trip in the Quebec-Windsor Corridor;

- commuter traffic by Montreal region residents.

Amongst these segments, intercity traffic was clearly the target market and the service strategy was adapted to its needs.

This size of the intercity market is currently in the order of 3,5 M trips per year (in both directions). The modal split is 1% air, 10% rail, 17% bus, and 72% auto. The purpose split is 37% business, 63% pleasure. (90% business on air, 45% on rail, 31% on bus, 35% on auto.)

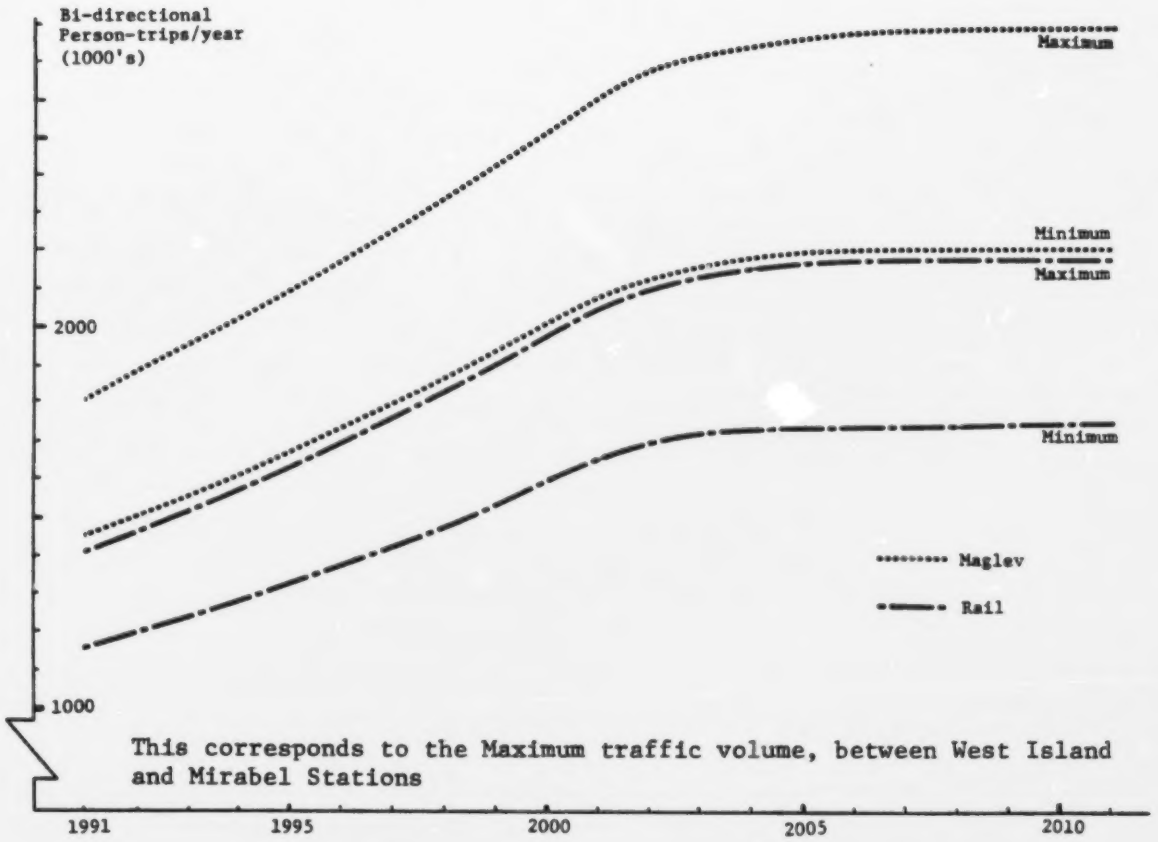


Figure 2-3 Forecasts of Total Future Traffic for HSGT

A suburban station in Montreal appears a requirement, given the observed geographic distribution of trip ends.

The resulting performance specifications appear in Table 2-1.

2.4 Traffic Forecasts

Traffic forecasts for HSGT services were prepared separately for the intercity, airport access, and induced demand segments. Through traffic and commuter traffic were ignored.

For intercity traffic, the forecasts were based on the 1982 observed rail traffic, which corresponds to a travel time of 125 min. This traffic was predicted to grow at annual rates of 4,5% to 1986 and 4,3% to 1991.

At the beginning of 1991 the new HSGT service envisioned herein would be implemented. Based on the performances described, terminal-to-terminal travel time would be 45 min for Maglev and 70 min for Rail. The 1991 HSGT traffic would be the 1990 rail traffic, plus 4% (the normal growth), plus additional passengers attracted by the time savings, (that extra growth being greater for the faster Maglev).

The attracted demand was estimated using the observed time-elasticity of demand to travel time; based on these observations, the following values were used:

- minimum traffic was evaluated using an elasticity of -1
  (a 1% reduction in travel time increases ridership by 1%)
- maximum traffic was evaluated using an elasticity of -2.

After 1991, HSGT traffic would grow at 4,3% per year for 10 years, then mature to zero growth after another 10 years.

Airport-related traffic was evaluated based on the observed geographic distribution of air trip ends and the observed use of ground access modes. This was done separately for Montreal and Ottawa, using greater attraction rates for Maglev than for Rail.

Figure 2-3 shows the predicted evolution of traffic with time for both technologies.

Table 2-1

Performance and service Specification

Subject Area	Parameter	Specification
Geographic Coverage	Terminal Location	Montreal: Central Station Ottawa: VIA Station
	Intermediate Stations and their location	Mirabel : Unver terminal building Ottawa : none Montreal: possibly a suburban station, easily accessible from the West Island
Quality of Service	Travel Time	Terminal-to-Terminal travel time not to exceed 75 minutes
	Operating Schedule	15 hours/day 7 days/week
	Frequency	1 departure/h on the average; higher frequency in peak periods
	Delays	No delays on line due to operational constraints
Safety	Collision Protection	Automatic anti-collision Automatic anti-overspeed Automatic route protection No grade crossings Emergency braking rate: 4 m/s^2 max.
	Train Operation	Continuous speed control
	Train Supervision	Automatic train location Two-way communication with central Centrally - controlled P.A. System
Ride Comfort	Lateral Acceleration	1 m/s^2 maximum
	Vertical Acceleration	1 m/s^2 maximum
	Jerk	0,5 m/s^3 maximum
	Vibrations	ISO reduced comfort Boundary for a 75-minute trip

3.

The Rail System

3. THE RAIL SYSTEM

This chapter discusses the major technical and cost aspects of the Rail system defined and analyzed in this study; the discussion covers all aspects of the system, from design principles through estimation of the capital and annual costs.

3.1 Definition and Costing Principles

The Rail system defined herein would provide high speed service between the city centres of Montreal and Ottawa, through Mirabel Airport. All trains would connect the two terminals and make two mandatory intermediate stops: one at Mirabel Airport and the other at a suburban station, near the intersection of Autoroute 13 with the CN Montfort Subdivision

Rail service would be provided daily, 18 hours per day. Frequency of service would be hourly on the average. Capacity would be progressively adapted to traffic growth to maintain a reasonable load factor; this would be done by lengthening train consists, not by increasing frequency.

The method used for cost estimation assumed that the system was engineered and built in Canada. Cost estimates were prepared from preliminary designs developed in this study, using observed unit costs and productivity rates whenever possible.

3.2 Description of the Rail Route

The proposed Rail Route is shown in Figure 3-1. Starting from its Montreal terminal at Central Station, it follows CN Subdivision Mount Royal through the Mount Royal tunnel; the two existing tracks will be rebuilt, to be shared by commuter trains and inter-city trains.

As the route exits the tunnel, the Rail system will operate on two exclusive tracks built on the west side of the right-of-way, with two exclusive commuter tracks on the east side. Wherever needed, industrial service tracks will be built on the outside of these four passenger tracks.

The proposed Rail route remains in the CN right-of-way all the way to Deux-Montagnes. Nearly all structures in this route section will have to be rebuilt to accomodate five and, occasionally, six tracks.

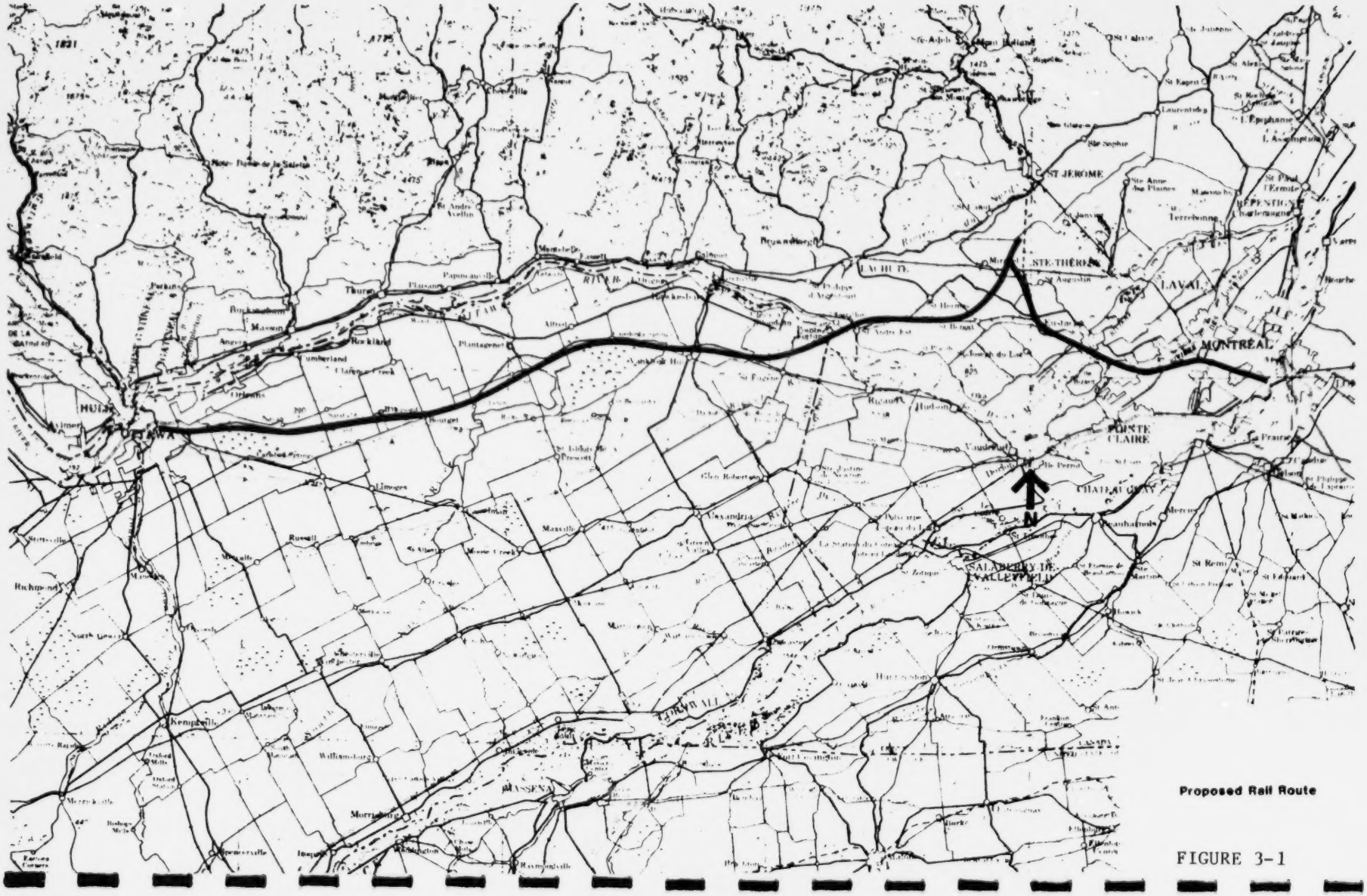

ST JEROME
STE-THÉRÈSE
LAVAL
MONTREAL
PONTE CLAIRE
CHÂTEAUGUAY
HULL
OTTAWA
Proposed Rail Route

FIGURE 3-1

North of Rivière des Mille-Iles (except for 3,5 km at La Fresnière) the route remains in CN Subdivision Montfort for 12 km, then leaves it to enter Mirabel Airport on a new alignment, around 45 km from Montreal.

The proposed Rail route is aligned between the existing runways. The tracks will be built in a cut, to clear all landing paths of existing runways and pass under future runways. A 1,7 km tunnel will be built where the alignment passes under existing taxiways, airport service roads, and buildings. The alignment could have to be covered in other areas to prevent radio and radar interference.

The Mirabel Airport Station will be located under the air terminal building, which has been designed in preparation for such a development. After serving the station, all trains will reverse direction and, for 5 km, will follow the alignment used in entering the airport, until the route branches towards Ottawa. At that point, the train has travelled 55 km since leaving Central Station.

The route then proceeds towards the Ottawa River which is reached near Saint-André. Between there and Mirabel, the route is generally built on a new alignment designed for high speeds. The route reaches the right shore at Pointe-Fortune, crosses the Ottawa River, then enters Ontario, and, 13 km later, joins CP Subdivision M.&O., near its crossing with Highway 417, in the Vankleek Hill Area.

From that point toward Ottawa, the rail route generally coincides with CP Subdivision M.&O. There is an exception around Plantagenet, where the alignment follows a more direct route designed for high speeds, for approximately 12,5 km.

The passenger tracks are built on the south side of the right-of-way; 35 km from Ottawa, they move to the north side to avoid numerous existing sidings on the south side.

Ottawa Station is reached at the end of a 185 km route. Due to the switchback at Mirabel, the train has actually travelled 190 km.

3.3 Capacity and Fleet Size

The expected traffic growth and the adaptation of line capacity to that growth are shown in Figure 3-2.

Based on a total travel time of 70 min between Montreal and Ottawa (allowing for station stops), and an assumed 40 min for turning trains around at terminals, six trainsets are needed for operations.

In addition, one train will be kept in standby at each terminal; a ninth trainset would provide the necessary reserve for preventative maintenance cycling.

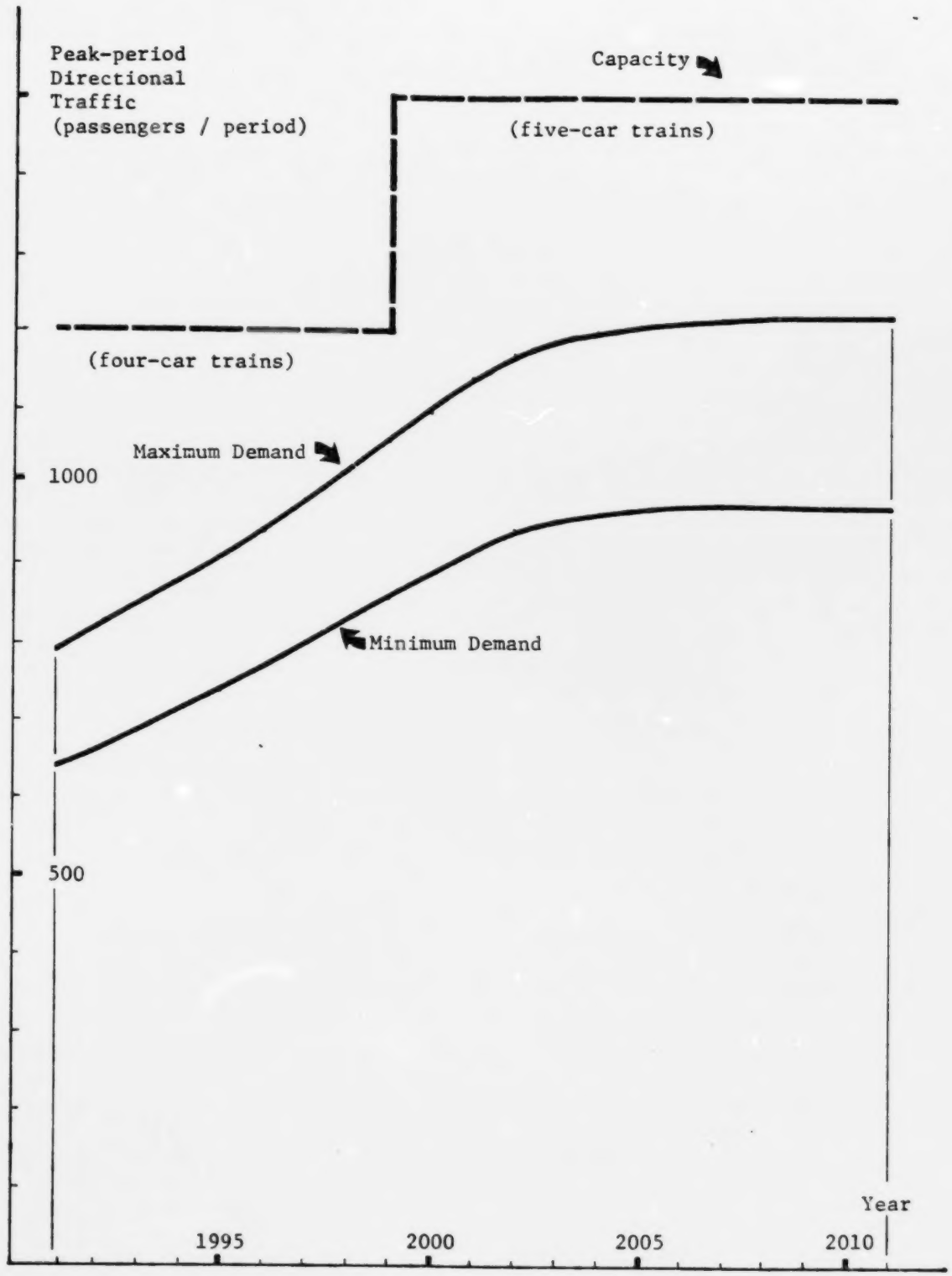


Figure 3-2 Traffic Growth and Capacity Adjustment for Rail

Consequently, the 1991 Rail fleet will consist of 9 trainsets of 4 cars each; in 1999, each trainset will be lengthened by the addition of a fifth car.

3.4 Vehicle

The Rail vehicle envisioned is a four-car self-propelled bi-directional electric multiple unit, which would be uncoupled for maintenance only.

Using single-phase alternating current supplied at 25kV from an overhead catenary, the unit is capable of a sustained maximum speed of 200 km/h, and acceleration and deceleration performances permitting the 70 min travel time specified over the proposed route.

Each car is approximately 25 000 mm long and 3200 mm wide; it offers four-abreast 2 x 2 seating for 75 passengers. In principle, all car layouts will be identical: there would be airline-type in-place snack and refreshment services.

Several existing train designs offer these characteristics; none of them is now adapted to Canadian conditions. For service in 1991, however, Canadian carbuilders could adapt one of these designs to Canadian conditions; they could also produce a vehicle from existing Canadian designs, such as the LRC train.

The unit cost of one car is estimated at $2,5 M (1983), considering an order for 36. The total capital cost for vehicles needed in 1991, including a 5% provision for spares, is estimated at $94,5 M.

3.5 Right-of-way and Track Layout

As shown in Table 3-1, the Rail route follows existing railways for 127 km and is on a new right-of-way for 58 km.

When the Rail route is along railways, a bordering strip (15 m wide) will be leased from the Railways; a similar long-term leasing arrangement already exists in Canada. When the Rail route is built on private land, a 30 m right-of-way will be acquired (exceptionnally, it would be 15 m or 50 m wide), for a total land acquisition of 220 ha, chiefly in rural areas. Land acquisition will cost $2,5 M and land leasing costs, $2,8M/year.

The track layout is shown schematically in Figure 3-3.

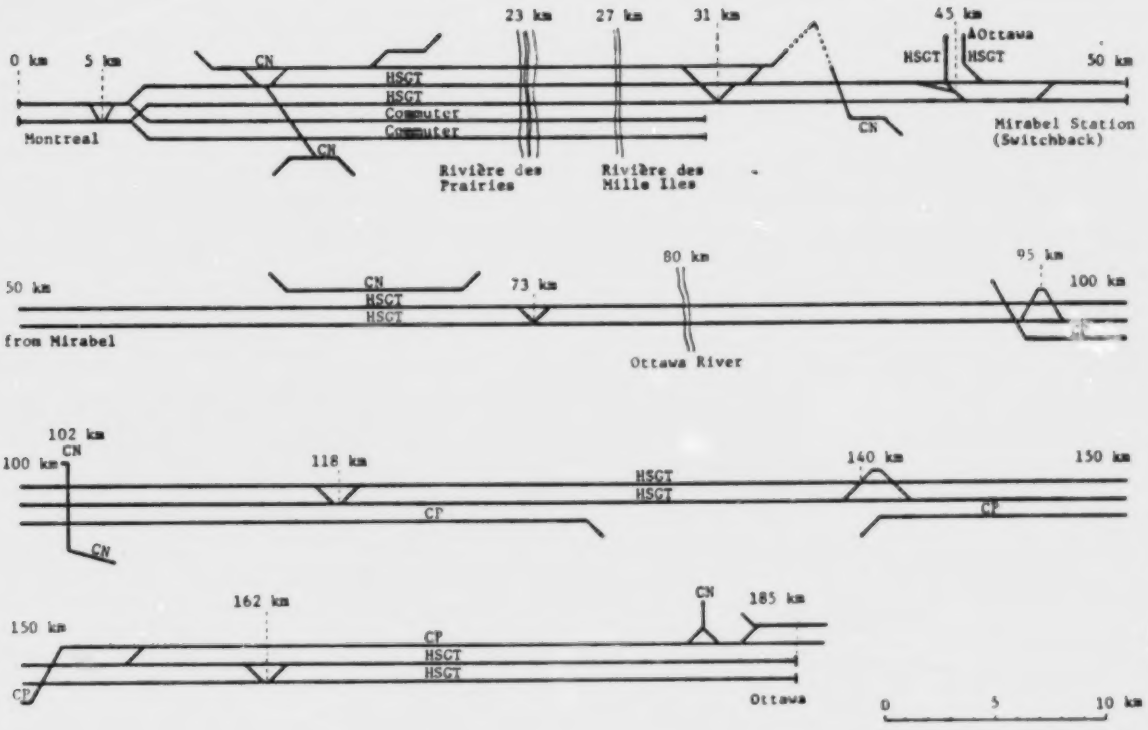
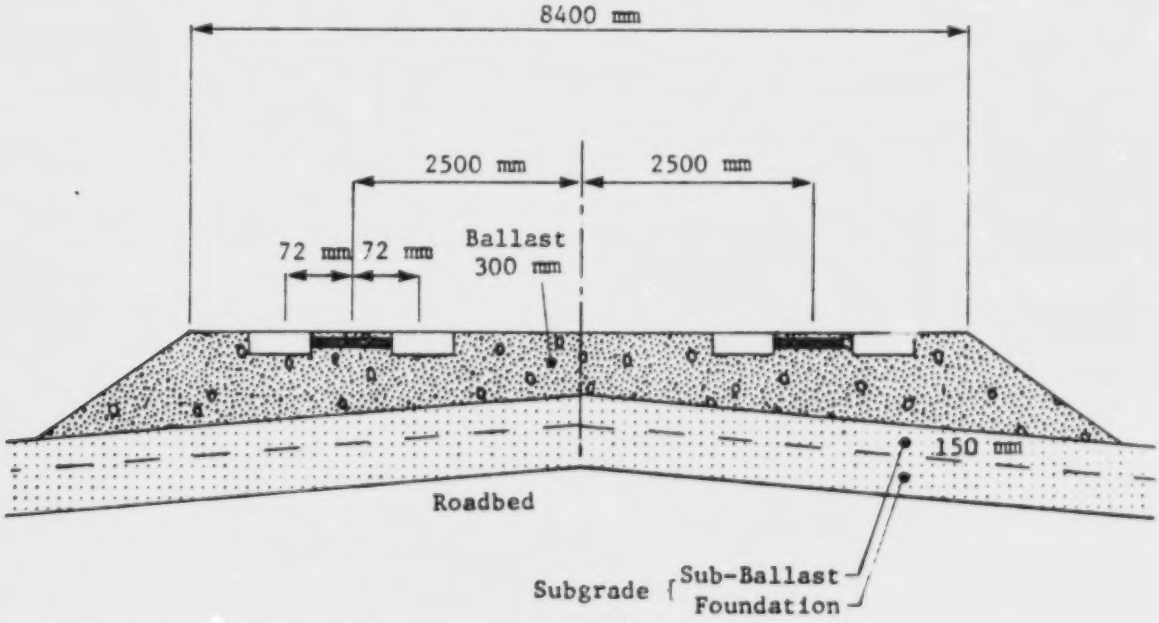


Figure 3-3 Summ[illegible]matic for Rail



Subgrade Thickness:

- good roadbed: 350 mm
- bad roadbed : 600 mm or more

Figure 3-4 Track Structure Designs

Table 3-1

Right-of-Way Requirements for the Rail Route

Acquisition Policy and Present Status	Further Classification	Context	System Requirements		
			Width (m)	Length (km)	Area (ha)
Rental of Railway Rights-of-Way	By Location	Urban	15	41,06	61,59
		Rural	15	86,00	129,00
		Total	-	127,06	190,59
	By Present Ownership	CN-owned	15	46,16	69,24
		CP-owned	15	80,90	121,35
		Total	-	127,06	190,59
Outright Acquisition of Land in Private Ownership	By Location and Width	Urban	15	0,50	0,25
		Rural	15	6,00	9,00
		Rural	30	37,90	113,70
		Rural	50+	14,28	96,88
		Total	-	58,68	219,83
	By Present Land Use	Woodland	Variable	13,30	53,20
		Farm/Undeveloped	Variable	45,38	166,63
		Total	-	58,68	219,83
All	Any	Any	-	185,74	410,42

Table 3-2

Capital Costs for Rail Infrastructure

Item	Quantity (Unit Specified)	Unit Cost (as Specified)	Total Cost (CDN $/1983)
RIGHT-OF-WAY ACQUISITION			
Rural Land	239,00 ha	$ 2 000 / ha	$ 0,5 M
Urban Land	0,25 ha	$ 53 800 / ha	$ 0,0 M
Building Expropriation	21 u.	$ 100 000 ea.	$ 2,1 M
Sub-Total			$ 2,6 M
TRACK COMPONENTS (Delivered)			
Rail	418 845 m	$ 102 / m	$ 42,7 M
	(50 260 t)	($ 625 / t)	
Ties	718 000 u.	$ 40 ea.	$ 28,7 M
Fasteners	418 845 m	$ 33 / m	$ 13,8 M
Sub-Total			$ 85,2 M
SITE PREPARATION			
Wood Clearing	65,6 ha	$ 4 485 / ha	$ 0,3 M
Rock Excavation	0,04 Mm^3	$ 30 / m^3	$ 1,2 M
Topsoil Removal	1,09 Mm^3	$ 2 / m^3	$ 2,2 M
Earth Removal	4,85 Mm^3	$ 2 / m^3	$ 9,7 M
Fill in place	4,43 Mm^3	$ 7 / m^3	$ 31,0 M
Contingencies (20%)			$ 8,9 M
Sub-Total			$ 53,3 M
TRACK BASE MATERIALS (in place)			
Foundation material	1,14 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 17,1 M
Sub-ballast	2,70 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 40,5 M
Ballast	0,81 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 12,1 M
Contingencies (20%)			$ 13,9 M
Sub-Total			$ 83,6 M
TRACK CONSTRUCTION			
Track Laying	418 845 m	$ 30 / m	$ 12,6 M
Fence	370 000 m	$ 42 / m	$ 15,5 M
Sub-Total			$ 28,1 M
TURNOUTS			
High Speed Automatic	32 u.	$ 300 000 ea.	$ 9,6 M
Low Speed Automatic	40 u.	$ 70 000 ea.	$ 2,8 M
Manual (#4)	17 u.	$ 48 000 ea.	$ 0,8 M
Diamond Crossings	19 u.	$ 60 000 ea.	$ 1,1 M
Sub-Total			$ 14,3 M
TOTAL (CDN $ M, 1983)			$ 267,1 M

3.6 Infrastructure

The track structure concept, shown in Figure 3-4, is similar to existing designs for high-speed high-frequency exclusive passenger service.

The track structure will rest on a 30 cm roadbed obtained by compaction to 95% OCR of the local soil, which will be replaced if not suitable. Depending on the quality of the roadbed after compaction, it may be covered by a 20 to 45 cm layer of granular material as a foundation layer; it will be omitted if the roadbed is excellent. The track structure, laid on the roadbed or foundation, will consist of 15 cm of sub-ballast and 30 cm of ballast.

Track made of continuously-welded rail (CWR) at 60 kg/m will be used. The CWR will be laid on concrete ties; these, of monoblock design, built with prestressed and reinforced concrete, would be spaced 60 cm apart. Rail would be fastened to concrete ties using spring clips, cant shoulder inserts, tie pads, and separate insulators.

The project requires a total functional length of 398,9 km of single track: 185 km of double track for the Rail system, and 28,9 of rebuilt or relocated freight track. Adding 5% for storage tracks and emergency sidings, the effective length is 418,8 km.

Quantities, unit costs, and total capital costs are given for all elements of the Rail infrastructure in Table 3-2.

3.7 Structures

Three types of structures are needed for the Rail system: grade separations, special structures, and bridges and culverts.

Grade separations are used to eliminate level crossings between automobile traffic and the Rail system. In urban areas, the typical grade separation is a four-lane structure which takes the street under the railway; it is a rigid frame of reinforced concrete. A similar structure is used to take the road or highway over the track in suburban and rural areas; two separate structures are used for a divided expressway. The cost of these structures varies with their size (number of traffic lanes, number of tracks), the subsoil conditions (piles or footings) and whether the structure is built new or to replace an existing structure.

The following special structures will be needed: a complex grade separation in the Town of Mount Royal, a grade separation between two railways at Eastern Junction, and a tunnel under roads and a taxiway at Mirabel Airport.

Typical bridge designs will have spans of 10, 40, and 100 m; 10 m bridges using a composite deck of reinforced concrete and standard steel shapes; 40 m spans using custom-welded plate steel beams with the composite deck; 100 m spans using a simply-supported steel truss, with ties laid directly on the structure.

Table 3-3

Capital Cost for Rail Structures

Item		Quantity (Unit Specified)	Unit Cost (as Specified)	Total Cost (CDN $ M, 1983)
GRADE SEPARATIONS				
Street-under-Rail	- New	10 u.	$ 470 000 ea. av.	$ 4,7 M
	- Rebuilt	5 u.	$1 080 000 ea. av.	$ 5,4 M
Highway-over-Rail	- New	26 u.	$ 188 000 ea. av.	$ 4,9 M
	- Rebuilt	5 u.	$ 356 000 ea. av.	$ 1,8 M
Road-over-Rail	- New	14 u.	$ 143 000 ea. av.	$ 2,0 M
Road reconstruction	- Foundation	0,60 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 9,2 M
	- Asphalt	0,17 Mt	$ 30 / t	$ 5,1 M
Contingencies (20%)				$ 6,6 M
	Sub-Total			$ 39,7 M
SPECIAL STRUCTURES				
Town of Mount Royal		1 u.	Global	$ 1,3 M
Eastern Junction		1 u.	Global	$ 1,5 M
Tunnel at Mirabel		1 u.	Global	$ 34,4 M
Contingencies (20%)				$ 7,4 M
	Sub-Total			$ 44,6 M
BRIDGES AND CULVERTS				
10 m Spans (2)		9 u.	$ 250 000 ea.	$ 2,3 M
40 m Spans (2)		1 u.	Global	$ 2,0 M
100 m Spans (1)		2 u.	$ 1,85 M	$ 3,7 M
Rivière-des-Prairies		1 u.	Global	$ 14,9 M
Rivière-des-Mille-Iles		1 u.	Global	$ 14,9 M
Ottawa River		1 u.	Global	$ 22,4 M
Culverts (1 m Ø)		1 000 m	$ 120 / m	$ 0,1 M
Culverts (2 m Ø)		100 m	$ 600 / m	$ 0,1 M
Contingencies (20%)				$ 12,1 M
	Sub-Total			$ 72,5 M
	TOTAL CAPITAL COST (CDN $ M, 1983)			$ 156,8 M

Table 3-4

Capital Costs for Rail Power Supply and Distribution

Item	Quantity (Unit Specified)	Unit Cost (as Specified)	Total Cost (CDN $ M, 1983)
SUBSTATIONS (3)			
Tranformers (6/8/10 MVA)	3 u.	$ 180 000 ea.	$ 0,54 M
Buildings, Protections, Controls	3 u.	$ 250 000 ea.	$ 0,75 M
Circuit Breakers (25 kV)	15 u.	$ 16 000 ea.	$ 0,24 M
HV Circuit Breakers -120 kV	1 u.	$ 160 000 ea.	$ 0,16 M
-230 kV	1 u.	$ 250 000 ea.	$ 0,25 M
-315 kV	1 u.	$ 350 000 ea.	$ 0,35 M
Contingencies (20%)			$ 0,46 M
Sub-Total			$ 2,75 M
PHASE BREAKS (2)			
Circuit Breakers (25 kV)	10 u.	$ 16 000 ea.	$ 0,16 M
Civil, Protection, Control	2 u.	$ 100 000 ea.	$ 0,20 M
Contingencies (20%)			$ 0,07 M
Sub-Total			$ 0,43 M
TERMINAL STATIONS (2)			
Circuit Breakers (25 kV)	2 u.	$ 16 000 ea.	$ 0,03 M
Buildings, Protections, Controls	2 u.	$ 50 000 ea.	$ 0,10 M
Contingencies (20%)			$ 0,03 M
Sub-Total			$ 0,16 M
CATENARY			
Sub-Total . 194,2 d.km		$200 000/d.km	$ 38,90 M
TOTAL (CDN $M, 1983)			$ 42,20 M

Table 3-5

Capital Costs for Rail Signalling

Item	Quantity (Unit Specified)	Unit Cost (as Specified)	Total Cost (CDN $ M, 1983)
WAYSIDE EQUIPMENT			
Typical Interlockings	9 u.	$ 1,8 M ea.	$ 16,3 M
Special Interlockings	4 u.	$ 2,5 M ea.	$ 10,1 M
Electric Locks	10 u.	$ 40 000 ea.	$ 0,4 M
Signal Blocks	175 u.	$ 44 000 ea.	$ 7,7 M
Hot Journal Detectors	10 u.	$ 37 800 ea.	$ 0,4 M
Contingencies (5%)			$ 1,7 M
Sub-Total			$ 36,6 M
CENTRALIZED EQUIPMENT			
Control Center Equipment	Global	-	$ 4,5 M
Sub-Total			$ 4,5 M
ON-BOARD EQUIPMENT			
Included in Cost of Vehicle		-	$ 0,0 M
Sub-Total			$ 0,0 M
TOTAL (CDN $M, 1983).....			$ 41,1 M

Preliminary conceptual designs were prepared for the three longer bridges crossing the des Prairies, des Mille Iles, and Ottawa Rivers. A concept was developed whereby these bridges could be built with a succession of 100 m steel trusses (with two parallel trusses where there are more than three tracks).

Schematic designs, with approximate dimensions, were prepared for each structure. Unit costs were taken from reports on recently completed structures of similar type and function. The summary estimation of quantities and capital costs for all Rail structures is shown in Table 3-3.

3.8 Stations

The Montreal Terminal would be located in Central Station: the Rail system would use existing platforms, which would require few modifications. The West Island Station would be an all new building; its platforms would be at car floor level. The Mirabel Station would be built in the basement of the existing terminal building, which was designed with a provision for this. The Ottawa Terminal would be built in the existing VIA Ottawa Station; raised platforms would be built. The estimated construction cost for stations is $3,1 M.

3.9 Power and Control Equipment

Power and control equipment for the Rail system would, use conventional but up-to-date technology. Considering only the Montreal-Ottawa traffic and the level of service and performance envisioned, three feed points only will be necessary for power supply. Considering low power losses resulting from the 25 kV distribution, no more intermediate substations would be necessary.

A standard catenary, with a 4/0 EK Copper-copperweld carrier cable and a 150 mm^2 solid copper contact wire, would be used for power distribution; a Y-type suspension, with automatic counterweight tension adjustment for a maximum sag of 25 cm, would be used to reduce contact losses. From km 0 to 5,4, the catenary would be suspended from the roof of the tunnel; from km 5,4 to km 31, it would be suspended from rigid steel frames spanning the full right-of-way, which houses 4, 5, and, even, briefly, 6 tracks; from km 31 on (except in the Mirabel Tunnel) a flexible suspension would be used, with single or double catenary supports typically spaced at 60 m.

The command and control system would use conventional fixed blocks and modern solid-state technology. Track circuits would offer anti-collision and anti-overspeed protection by automatic brake application through on-board control equipment. Automatic turnouts would be controlled from a single location and interlocked with track circuits for fail-safe route protection. The complete operation would be supervised from a control center.

Table 3-6

Breakdown of 1991 Operating Costs for Rail

Position	Staff	Direct Salaries ($M)	Indirect Salaries ($M)	Total ($M)
Enginemen	42	2,35	0,42	2,77
Conductors	25	1,30	0,23	1,53
Stewards	100	2,60	0,47	3,07
Train Operation Salaries				7,37
Material Costs for Train Operation (10%)				0,74
Total Costs for Train Operation				8,11
Station Manager	4	0,22	0,16	0,38
Station Masters	16	0,83	-	0,83
Assistant Station Masters	16	0,64	-	0,64
Station Personnel	110	3,41	-	3,41
Station Operation Salary Costs				5,26
Material Costs for Station Operation ($0.80 per passenger)				1,03
Total Costs for Station Operation				6,29
Reservation Agents	26	0,81	0,15	0,96
Salary Costs for Reservation				0,96
Material Costs: Included in Station Operation				-
Total Costs for Reservation				0,96
System Operation Manager	1	0,05	0,05	0,10
Terminal Supervisors	15	0,65	-	0,65
Dispatchers	5	0,18	-	0,18
Operators & Ass't. Dispatchers	15	0,46	-	0,46
Total				1,39
TOTAL OPERATING COST				16,75
GENERAL AND ADMINISTRATIVE (8%)				1,34
TOTAL (CDN $M/year, 1983)				18,09

Auxiliary equipment would consist of on-board and central voice communication apparatus, a maintenance building which would house the control centre and administrative offices, and the necessary fixed and mobile maintenance equipment. These three items would cost $13,5 M in total.

Details on quantities and costs for equipment for power supply and distribution, and for command and control, are given in Tables 3-4 and 3-5, respectively.

3.10 Operation and Maintenance

A detailed analysis of operating and maintenance procedures, personnel, and costs, was performed for the Rail system.

For operations, the number of positions to be filled for each function was estimated, then the staff required to fill each position was evaluated. Salary costs were derived from salaries prevailing at VIA Rail. The result is shown in Table 3-6.

For vehicle maintenance, the costs were estimated by comparison with costs observed for maintaining similar equipment in other countries, taking into account the results of studies recently performed for VIA Rail to adapt these costs to Canadian conditions. Track and structure maintenance costs are well known from experience. The results are shown in Table 3-7.

Power consumption costs would amount to $1,52 M/year in 1991, raising by 25% in 1999 with the introduction of a fifth car in train consists.

Table 3-7

Maintenance Costs for Rail (1991)

System Element	Useful Life (Years)	Maintenance Factor (%)	Capital Cost ($M)	Annual Maintenance Cost ($M/year)
VEHICLES				
Sub-Total	20	6,6	94,5	6,22
INFRASTRUCTURE				
Roadbed	100	0,0	53,3	0,00
Track Foundation	50	0,2	69,1	0,15
Ballast	25	8,3	14,5	1,20
Track	40	0,4	97,8	0,43
Fence	20	1,3	15,5	0,20
High Speed Turnouts	20	2,8	10,7	0,30
Other Turnouts	40	1,4	3,6	0,05
Sub-Total	-	(0,9)	264,5	2,33
STRUCTURES				
Grade Separations	50	0,2	39,7	0,09
Special Structures	50	0,2	44,6	0,10
Bridges and Culverts	50	0,2	72,5	0,15
Sub-Total	-	(0,2)	156,8	0,34
POWER AND CONTROL				
Power Sup. & Distribution	40	1,8	42,2	0,78
Signalling	40	1,0	41,1	0,41
Communications	20	0,0	3,5	0,06
Sub-Total	-	(1,4)	87,8	1,15
FACILITIES				
Sub-Total	40	14,5	13,1	1,90
ADMINISTRATION (8%)	-	-	-	0,96
TOTAL (CDN $M 1983)	-	2,1	616,7	13,00

4.

The Maglev System

4. THE MAGLEV SYSTEM

This chapter discusses major technical and cost aspects of the Maglev system; the discussion covers all system aspects, from design principles through the estimation of the capital and annual costs.

4.1 Definition and Costing Principles

The Maglev system as defined provides high speed service between thecity centres of Montreal and Ottawa through Mirabel Airport. All Maglev trains connect the two terminals and make two mandatory intermediate stops: at Mirabel and at a suburban station, near the intersection of Autoroute 13 and the CN Montfort Subdivision.

Maglev service is provided daily, 18 hours per day. Frequency of service will be hourly on the average. Capacity will be progressively adapted to traffic growth to ensure a reasonable load factor; this will be done by lengthening consists, not by increasing frequency.

The cost estimation method adopted presumes that, whenever applicable, the system is engineered and manufactured or built in Canada; the capital cost estimates are thus based on Canadian practices, salaries, and productivity rates. Cost estimates were prepared from preliminary designs developed in this study, using observed unit costs whenever possible. For the vehicle and guideway-mounted equipment (but not the guideway structure), the final estimate was prepared by Transrapid International.

Unless otherwise noted, cost estimates are given in mid-1983 Canadian dollars; estimates in German marks were converted at the exchange rate of 2,15 DM/CDM $, the prevailing rate in September 1983.

4.2 Description of the Maglev Route

The proposed Maglev route is shown in plan on Figure 4-1. Starting from its Montreal terminal in Windsor Station, the route selected follows the CP right-of-way (Subdivision Vaudreuil) towards Dorval through the suburban cities of Westmount, Montreal West, Saint-Pierre, Lachine and Dorval for a total distance of 17,5 km approximately. The Maglev guideway is built 9 m above top of rail, on a structure placed on the north side of the right-of-way: this height allows clearance of the signal bridges; near Windsor Station the guideway ascends to 15 m above rail in order to clear two highway overpasses.

In Dorval, the route veers sharply to the right and passes through a small neighborhood park; this entails demolition or relocation of four single-family houses, two 20-unit appartment houses, as well as a small elementary school.

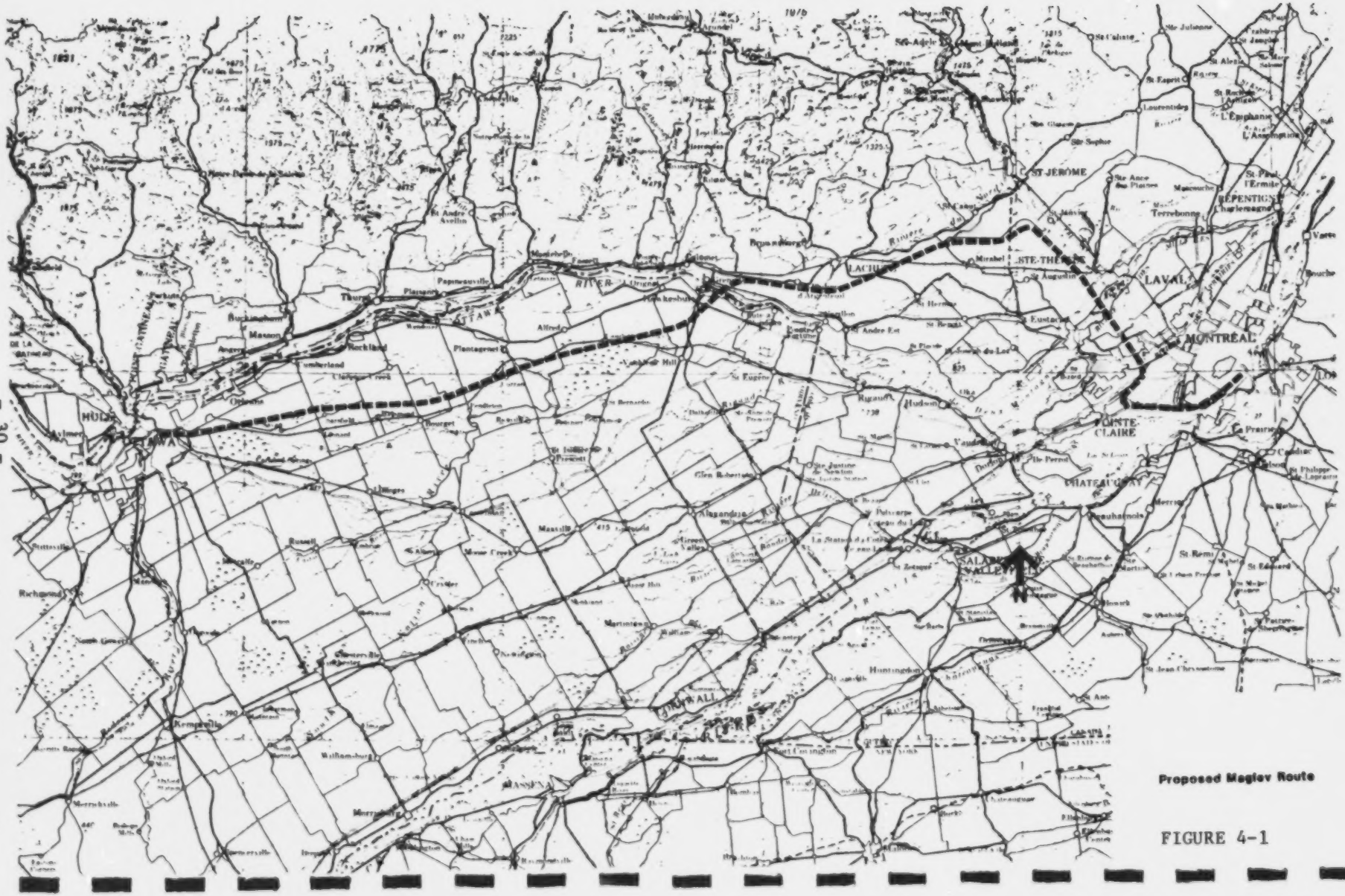

ST-JÉRÔME
LAVAL
MONTRÉAL
STE-THÉRÈSE
REPENTIGNY
HULL
OTTAWA
Proposed Maglev Route

FIGURE 4-1

In that area, the guideway descends to grade level to minimize environmental impacts as well as to allow the required flight path clearance as it passes near the end of Dorval Runways 06L and 10.

The route then turns right and climbs to 9 m again, to be aligned along CN Doney Spur through the Hymus Boulevard Industrial Park, then veers left to cross Autoroute 40. There is a Maglev station near the intersection of the Maglev route with CN Subdivision Montfort.

From then on, the guideway is generally built on an elevated structure, 5 m above the terrain, using 25 m spans. A structure using longer spans must be built to cross Rivière des Prairies.

Through Laval, the Maglev route is generally built about 500 m west of Autoroute 13, as there is no space left for a double guideway on the expressway right-of-way (unless all existing structures are rebuilt). Few houses need to be relocated.

After crossing Rivière des Mille Iles, using longer spans again, the route proceeds along a straight alignment, towards Autoroute 15 which it follows. Near St-Janvier, at km 50, the route veers towards Mirabel.

Near Mirabel Airport, the route descends progressively because the airport station is located on the ground floor of the terminal building. As it leaves the terminal, the route turns sharply and climbs back soon to its normal elevated configuration.

From then on, the guideway is normally built 5 m above ground and the route follows an alignment selected to minimize construction difficulties in soft terrain. The route thus passes south of Lachute, south of Saint-Philippe d'Argenteuil, and crosses the Ottawa River slightly east of Hawkesbury (Ontario) at km 102.

After that, the route follows the general direction of CP Subdivision M.&O., along which it is built for the last 10 km before Ottawa, a good portion of it at grade.

4.3 Capacity and Fleet Size

Figure 4-2 shows the expected traffic growth and the adaptation of line capacity to that growth.

Based on a total travel time of 45 min between Montreal and Ottawa, (allowing for station stops), and an assumed time of 40 min for turning vehicles at terminals, four Maglev consists are needed for operations.

In addition, one consist will be kept in standby on the line; a sixth trainset would provide the necessary reserve for preventative mainte-

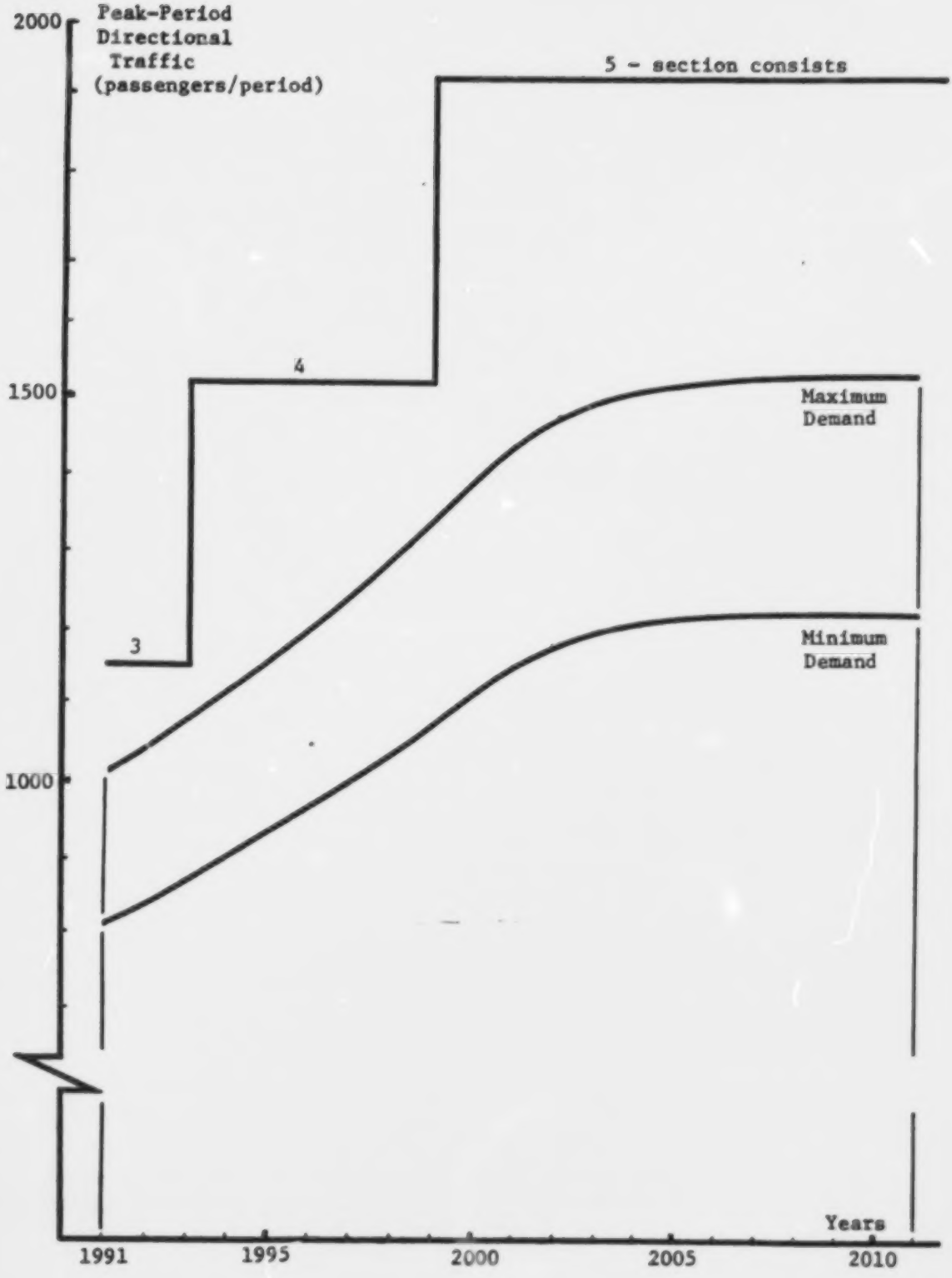


Figure 4-2 Traffic Growth and Capacity Adjustment for Maglev

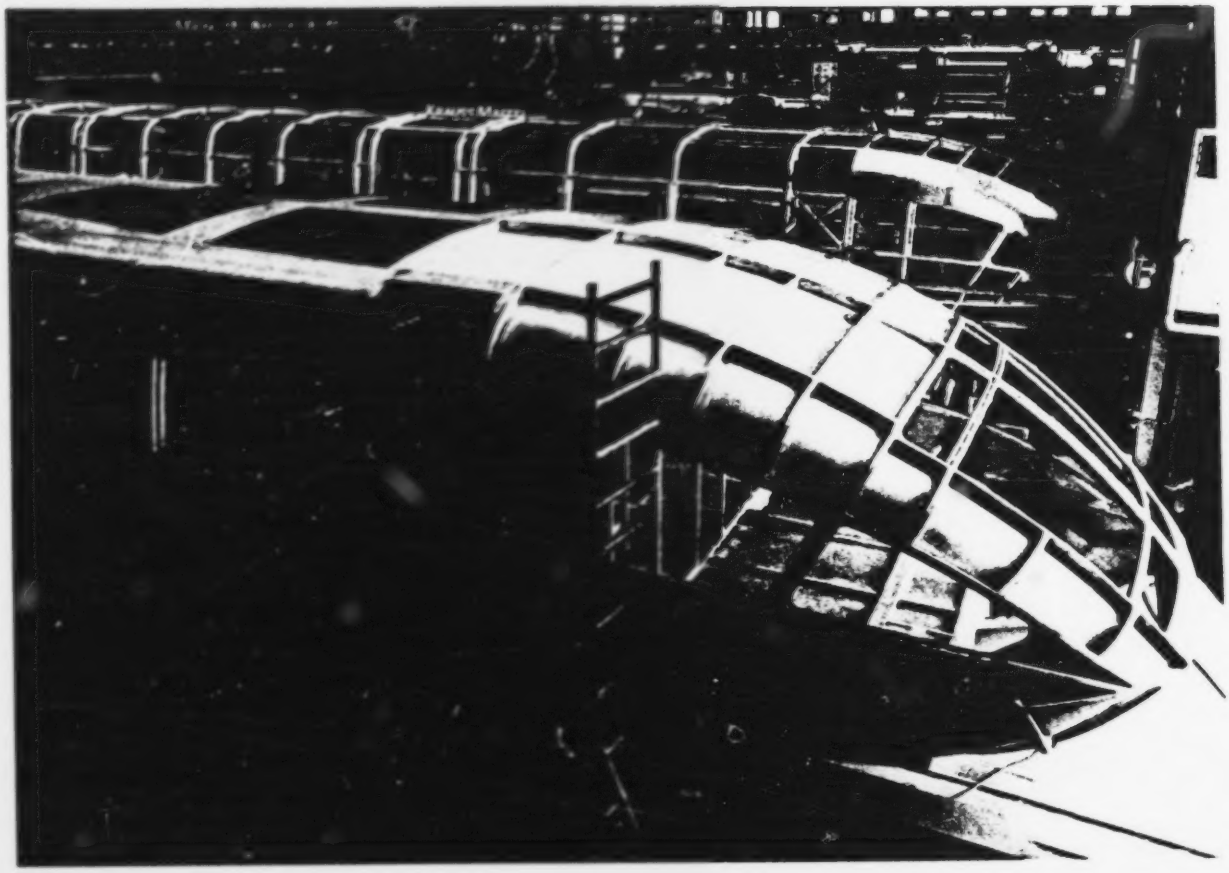


Figure 4-3 Car-Body Structure of Maglev Vehicle

nance. Consequently, the 1991 Maglev fleet will consist of 6 trainsets of 2 sections each; in 1993, each consist will be lengthened by the addition of one intermediate section, and again in 1999.

4.4 Vehicle

The concept, dimensions, and performance of the Maglev vehicle were described in Section 2.1 (Figures 2-1 and 2-2).

A basic vehicle unit is made of identical end sections and has a total capacity of 192 passengers with a 3 x 2 seat layout. Each section has four doors, two on each side. Intermediate sections, to be added in 1993 and 1999, are identical to end sections in dimensions, capacity, and layout; the only difference is the absence of a cockpit and of command and control equipment.

The car body has a monocoque structure of sandwich plates (polymer foam between aluminum layers), riveted onto transverse frames made of aluminum profiles (Figure 4-3), and rests on four bogies through a pneumatic secondary suspension.

Each bogie carries eight levitation magnets, each 150 cm long; they are placed horizontally along the car, opposite the two-part stator of the linear motor (Figure 4-4). Each bogie also carries guidance magnets; these are placed vertically along the car, opposite guidance rails mounted on the edges of the guideway beam.

Propulsion is supplied by a traveling field wave that is generated by the two-part iron-cored long stator of the synchroneous linear motor. The wave draws the vehicle by magnetic attraction.

The cost for a two-section vehicle is estimated at $12,0 M for an order for 30 sections; each intermediate section procured in the same order would cost $5,7 M, the difference being in the lack of on-board command and control equipment.

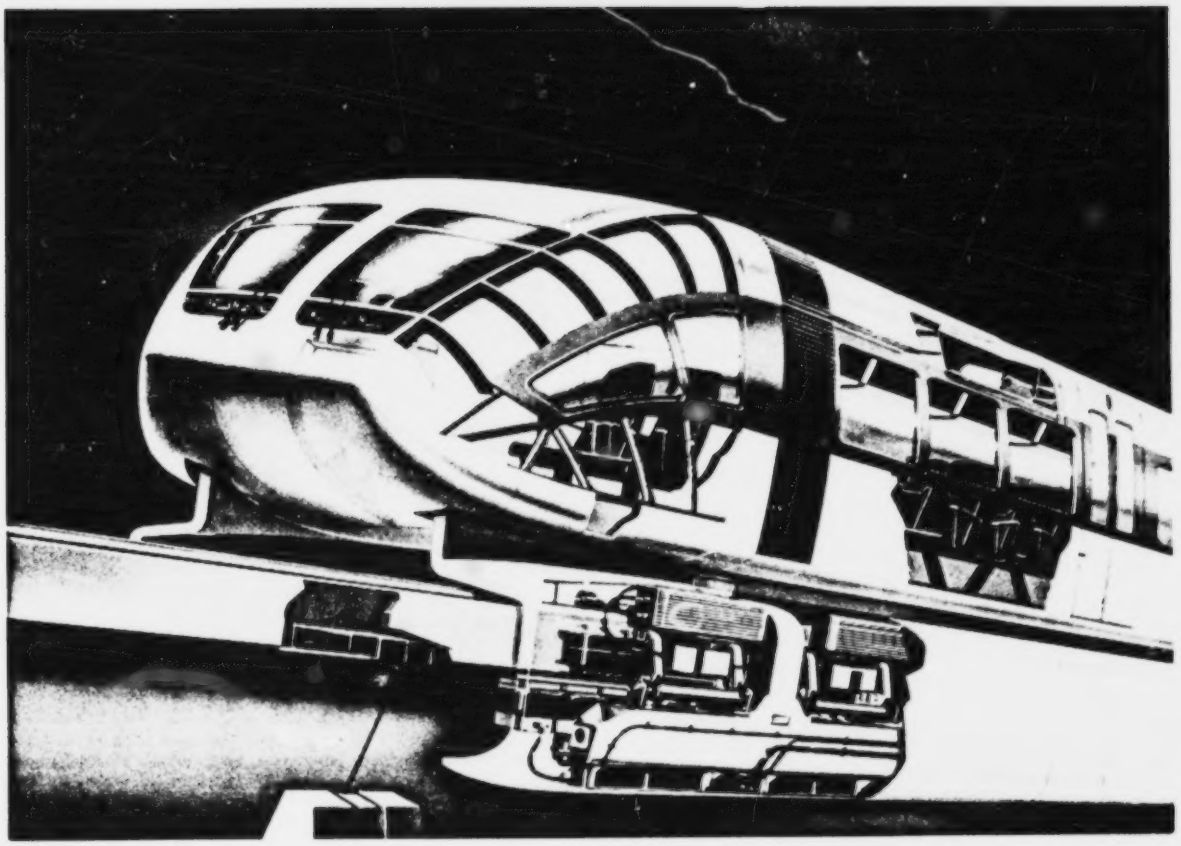


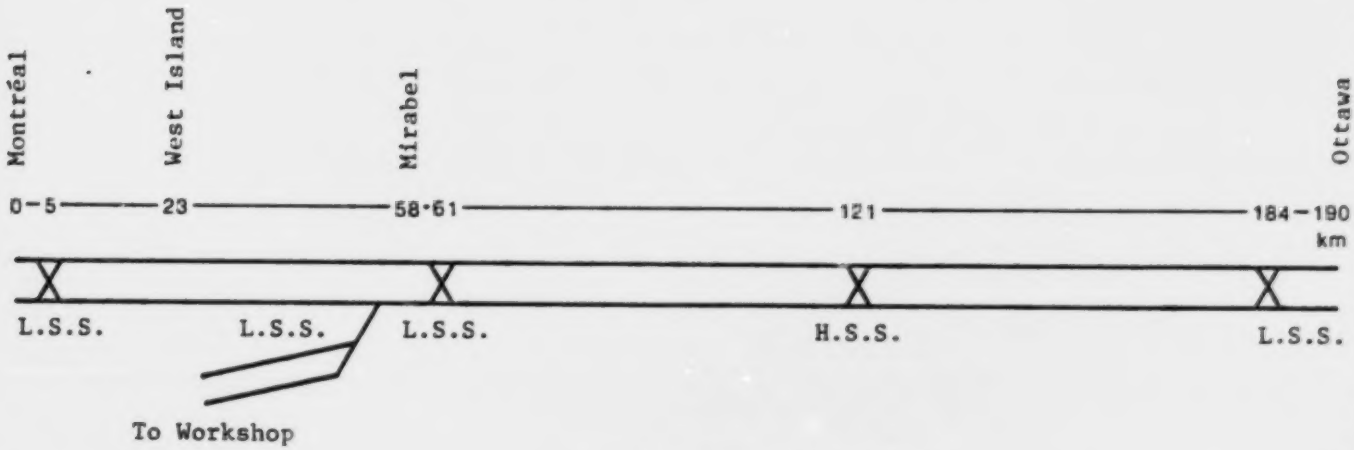
Figure 4-4 Levitation, Guidance and Propulsion Equipments on the Maglev Vehicle

4.5 Right-of-Way and Guideway Layout

As seen in Table 4-1, the Maglev route will follow railway lines for 27,6 km and need a new right-of-way along 161,9 km. The guideway layout is seen in Figure 4-5.

When the Maglev guideway is built along railways, it will effectively be on a structure, over the right-of-way, with a clearance of 8,5 m between the top of rail and the underside of the guideway beam. When acquiring a new right-of-way, the width will be 15 m in urban and suburban areas and 30 m in rural areas, to allow the construction of a permanent access road for emergency evacuation and guideway maintenance.

Land acquisition is estimated to cost $5,2M, building relocation or demolition, $7,0M, and the leasing of air rights over railways, $7,6M per year.



L.S.S.: Low Speed Switch
H.S.S.: High Speed Switch

Figure 4-5 Summary Guideway Schematic for Maglev

Table 4-1

Right-of-Way Requirements for the Maglev Route

Acquisition Policy and Present Status	Further Classification	Context	System Requirements		
			Width (m)	Length (km)	Area (ha)
Rental of Air Rights over Railways	By Location	Urban	15	23,6	35,4
		Rural	15	4,0	6,0
		Total	-	27,6	41,4
	By Present Ownership	CN-owned	15	2,1	3,15
		CP-owned	15	25,5	38,25
		Total	-	27,6	41,4
Outright Acquisition of Land in Private Ownership	By Location and Width	Urban	15	6,4	9,6
		Suburban	15	16,0	24,0
		Federal(Mirabel)	30	25,0	75,0
		Rural	30	114,5	343,5
		Total	-	161,9	452,1
	By Present Land Use	Woodland	Variable	48,5	140,8
		Farm/Undeveloped	Variable	113,4	236,3
		/Federal	Variable	-	75,0
		Total	-	161,9	452,1
All	Any	Any	-	189,5	493,5

Note: The right-of-way width is 30 m in rural areas to leave room for an emergency access road which is not needed in urban areas due to the availability of other means of access to the guideway such as cross streets.

4.6 Infrastructure

In the Rail system, the infrastructure provides guidance and support for the vehicle and, by a series of elastic deformations, distributes the resulting loads down to the roadbed while damping the corresponding vibrations.

In the Maglev system by contrast, the support and guidance functions are provided by the guideway structure, which has enough rigidity to maintain the stringent positional tolerances required by the magnetic attraction process.

Consequently, the infrastructure is a much less important subsystem in Maglev than in Rail: it consists only of site preparation and the construction of an emergency access road, implying investments of $14,9 M.

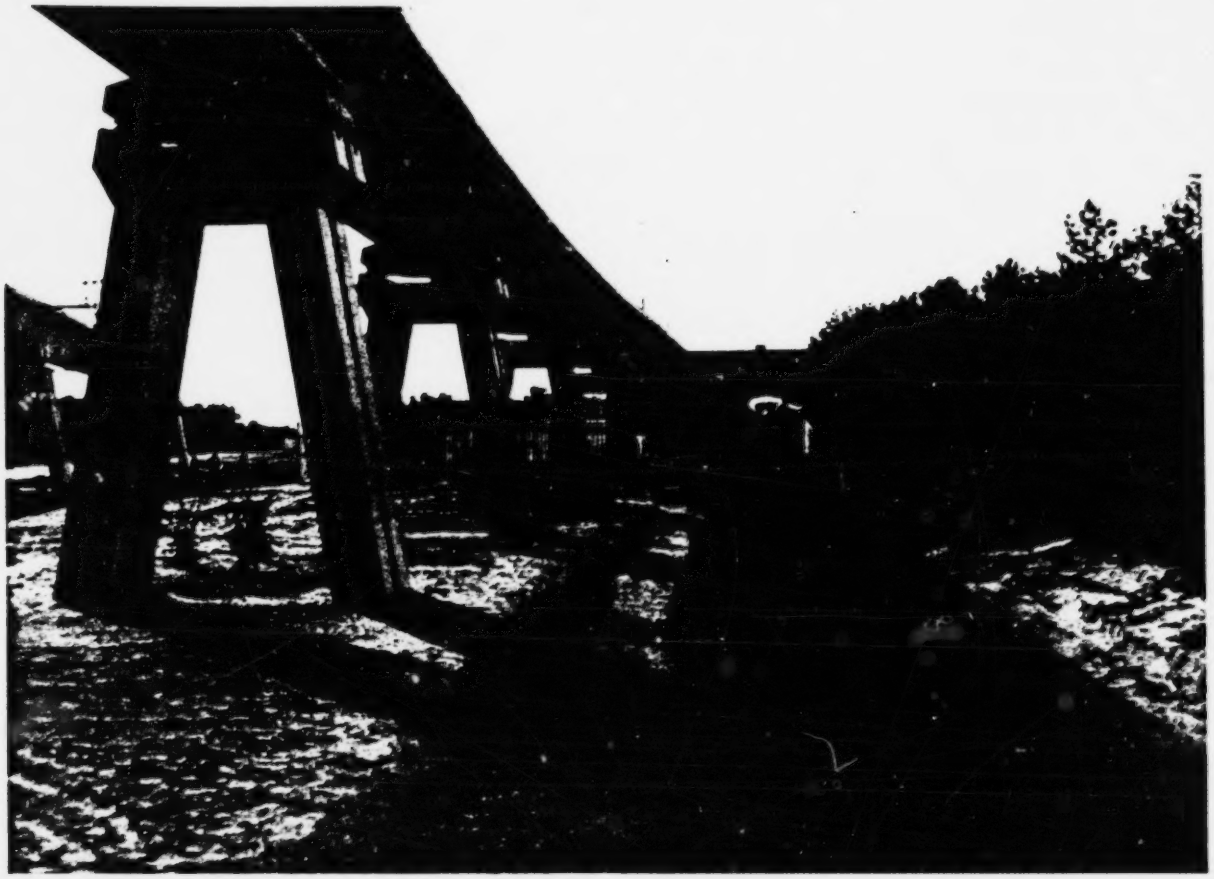
4.7 Structures

Physically and costwise, the guideway structure is the most significant element of the Maglev system; it consists of four elements, some of which may be present only in an elevated guideway:

- beams, which support the vehicle and the active stator, guidance rails, and the signalling system; beams are always needed;
- bearings, always needed, allow the positional adjustments that could be required to maintain guideway geometry following settlement of foundation elements;
- piers or columns, that provide the desired clearance between the underside of the guideway beam and the terrain or an obstacle; they are used only for elevated guideways;
- foundations, which transmit to the ground the live and dead loads associated with the vehicles and guideway beams.

Given the Maglev guideway concept, the role of the guideway beam is equivalent to that of the sub-ballast and ballast in the Rail system: the beam supports the guidance rail like the ballast supports the track. Guideway beams have been designed in standard lengths of 25, 36, and 72 m; special beams of greater lengths could be designed for longer spans.

A standard 25 m prestressed concrete girder is illustrated in Figure 4-6: the depth of the beam is 1800 mm. Guideway beams could also be manufactured of steel.



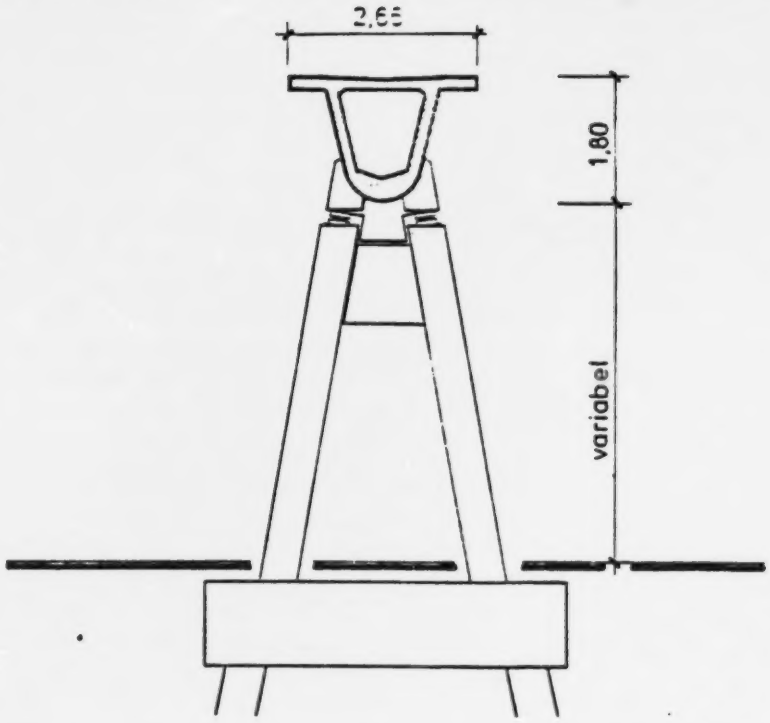


Figure 4-6 A-Shaped Pier on Piles for an Elevated Guideway

Prestressed concrete beams will be factory-built, using custom-designed external and internal steel forms; if only 25 m beams are used, they could all be manufactured in a central plant and transported to the site. If a large number of 72 m beams were used, local manufacturing plants could be required, as transport would cause problems. The cost of a single beam is $25 000 in place; thus the total cost for beams is $1,0M/km for a single guideway, $2,0M/km for a double guideway. In addition, the cost of bearings amounts to 4% of the cost of beams.

If a relatively large number of grade separations are needed, an elevated guideway, which replaces them all, could be less expensive. This trade-off has been analyzed in detail by TransRapid. It has been found that for a medium-density urban area, the least cost solution is an elevated guideway with a 5 m clearance. This has been adopted as the standard guideway configuration in this study, except in situations where it is unapplicable (such as over railways) or too onerous (such as when 40 m piles are necessary).

The structure used to provide the 5 m clearance between the terrain (or obstacle) and underside of the beam is an A shaped pier (Figure 4-6), which can be used indifferently in curves and on tangent. Each pier costs $5 500, for a total cost of $0,22M/km for a single guideway, $0,44M/km for a double guideway. Piers are also available for a 2 m or 7 m clearance.

Finally, the design and cost of foundation elements varies with

- the clearance of the guideway, which influences vertical loads (due to the height of the pier) and moments of longitudinal loads;
- whether the guideway is straight or curved, in which case the foundation must also resist lateral loads;
- the nature of the subsoil which dictates the use of footings or piles (and their length when used).

Footings and pile caps will be made of reinforced concrete; when used, the piles (four or six) will generate 500 to 1000 kN each and be up to 40 m in length.

After defining the design concepts for the various guideway structure elements and their construction costs , an evaluation was performed to determine the quantity of each needed. This required:

- analyzing the route (Figure 4-1);
- deciding, at any point, what the guideway clearance will be;
- selecting, based on the clearance, the appropriate pier;
- selecting, based on the degree of curvature, the clearance, and the type of subsoil, the appropriate foundation element.

This analysis was performed using available geologic information on the subsoil along the proposed route. The results of the inventory, together with the corresponding construction costs, are given in Table 4-2.

Table 4-2

Basic Guideway Structure Costs

Guideway Clearance (Length)	Sub-Soil Type			
	Rock or Till		Sand or Clay	
	Tangent	Curve	Tangent	Curve
0 m (At Grade) (8,9 km)	$12,85 M (6,0 km)	$ 0,85 M (0,4 km)	$ 6,43 M (2,5 km)	-
2 m (6,4 km)	$ 3,80 M (1,0 km)	$ 8,93 M (3,0 km)	$ 7,86 M (2,4 km)	-
5 m (152,3 km)	$197,52 M (59,1 km)	$16,10 M (4,5 km)	$338,67 M (87,7 km)	$ 3,22 M (1,0 km)
8,5 m (over 2 tracks) (16,2 km)	$27,62 M (7,7 km)	$ 6,44 M (1,8 km)	$19,66 M (4,9 km)	$ 7,20 M (1,8 km)
8,5 m (over 3 tracks) (5,7 km)	-	-	$28,53 M (5,7 km)	-
Sub-Total by Type (189,5 km)	$241,79 M (73,8 km)	$32,32 M (9,7 km)	$401,15 M (103,2 km)	$10,42 M (2,8 km)
TOTAL	$ 685,7 M			

Table 4-3

Summary of Maglev Guideway Structure Costs

Guideway Element	Configuration, Dimension or Clearance	Length (km)	Average Unit Cost ($M/d.km)	Total Cost (CDN$M,1983)
Beams	25 m	189,5	2,00	379,0
Bearings	-	189,5	0,08	15,2
Piers	2 m	6,4	0,27	1,7
	5 m	152,3	0,47	67,0
Sub-Total, Piers				68,7
Foundations	0 m	8,9	0,20	1,8
	2 m	6,2	0,91	5,8
	5 m	152,3	1,13	171,7
Sub-Total, Foundations				179,3
Frames	2 tracks	16,2	1,68	27,2
	3 tracks	5,7	2,92	16,7
Sub-Total, Frames				43,9
Railway Crossings	10 u.		0,37 ea	3,7
River Crossings	8 u.		0,79 ea	6,3
Sub-Total, Crossings				10,0
TOTAL CAPITAL COST FOR GUIDEWAY STRUCTURE (CDN $M, 1983)				696,1

Finally, crossings of rivers and railway tracks must be taken into account. These occur in locations where the guideway would be elevated to a 5 m clearance. The costs shown in Table 4-3 for these crossings reflect the amount by which they exceed the cost of the elevated (5m) guideway that would have been built there with 25 m beams in the absence of the river or obstacle.

4.8 Stations

The Montreal Terminal is located at Windsor Station. As the guideway is built over railway tracks in that area, the Maglev Station is also built over the existing low-level platforms. The ticket hall would be located under the Maglev platforms or in Windsor Station. The West Island Station would be an entirely new building; its platforms would be built so as to leave a 9 m clearance above the terrain, as this is near a railway track crossing.

The Mirabel Airport Station is built on the ground floor of the existing terminal building. East of the station, the guideway clearance is progressively reduced to enter the building at the appropriate level in an open cut. As it exits the Station, towards the West, the guideway would curve and rise sharply. The Ottawa Terminal is to be built at the existing VIA Ottawa Station, with the guideway at grade.

Elevated station platforms are to be covered to protect waiting passengers from the elements. The estimated construction cost for all stations is $7,2M.

4.9 Power Equipment

There are four major elements in the power supply and distribution sub-system for Maglev:

- supply network, linking the Maglev system with the Utility;
- substations, modifying the energy received to give it the appropriate characteristics for vehicle propulsion;
- circuit connections, distributing the energy from substations to guideway sections;
- active long stator, the fixed part of the linear synchronous motor.

The supply network consists of conventional aerial transmission lines bringing current from the Utility network to Maglev substations located near the guideway.

Each substation receives current at 115/230 kV 60 Hz, transforms it to 20 kV, rectifies it to 4-6 kV d.c., and uses static inverters to feed, alternatively, guideway sections with current that is variable in frequency (0-215 Hz) and voltage (0-5 kV). Different substations are used for acceleration and constant speed: an acceleration substation feeds 11 km of double guideway, while a constant speed substation feeds 25 km.

Table 4-4

Capital Costs for Maglev Power Supply

Item	Quantity (Unit Specified)	Unit Cost (as Specified)	Total Cost (CDN $ M, 1983)
SUPPLY NETWORK *			
Sub-Total			$ 0,0 M
SUBSTATIONS			
for acceleration section	4 u.	$ 9,8 M ea.	$ 39,2 M
for constant speed section	6 u.	$ 6,4 M ea.	$ 38,4 M
Sub-Total			$ 77,6 M
CIRCUIT CONNECTIONS	185,5 d.km	$ 0,49 M/d.km	$ 90,9 M
Sub-Total			$ 90,9 M
LONG STATOR Stator and Windings in place	193,3 d.km	$ 1,09 M/d.km	$ 210,7 M
TOTAL CAPITAL COSTS			$ 379,2 M

* The cost of the supply network is normally included in the fixed charges made by the Utility for power consumption. In the case of Maglev, due to the importance of the supply network, some part of its construction cost could have to be borne by the system.

For power distribution, each segment of the guideway fed by a given substation (11 or 25 km) is subdivided into 1000 ou 2000 m long sections; these are fed consecutively from the substation to which they are connected with six cables offering an equivalent copper area of 97 mm^2.

The long stator consists of two groups of steel laminations intertwined with cable windings; each group, 180 to 185 mm wide and 91,5 mm thick, is mounted on the underside of a lateral projection of the guideway beam.

The procurement and construction costs for the Maglev power supply were estimated by TransRapid International based on their studies and their experience at the Emsland Test Facility. These estimates were converted at the rate of 2,15 DM/CDN$; they are given in Table 4-4.

4.10 Control Equipment

There are three major elements in the command and control subsystem for Maglev:

- on-board command and control equipment, which ensures that vehicles do not transgress safety commands emitted by the guideway-mounted information system;
- information system embedded in the guideway and having a similar function as railway track circuits;
- a control center similar to the Rail system's.

Functionally, the Maglev command and control system is organized like the Rail system's, with on-board, guideway and centralized equipments providing the same functions of collision protection, overspeed protection, route protection, and system supervision.

The information system hardware is embedded in the guideway and used to transmit control commands to the vehicle. Vehicle detection is performed without mechanical contact between the vehicle and the guideway. The information system is linked to a central control center which supervises the whole operation.

Capital costs for the Maglev control equipment were estimated by TransRapid International; they are given in Table 4-5. Costs for on-board command equipment are included in the cost of the vehicle.

4.11 Other Guideway Equipment

The two guidance rails are 310 mm high and 36 mm thick each; they are placed vertically on the edges of the guideway beam by a special machine, which travels over the guideway and also lays the long stator.

Table 4-5

Capital Costs for Maglev Guideway Equipment

Item	Quantity (Unit Specified)	Unit Cost (as Specified)	Total Cost (CDN $ M, 1983)
GUIDANCE RAILS			
Rails in place	193,3 d.km	$ 0,56 M/d.km	$ 108,3 M
TURNOUTS			
High Speed Double Crossovers	1 u.	$ 7,60 M ea.	$ 7,6 M
Low Speed Double Crossovers	3 u.	$ 5,00 M ea.	$ 15,0 M
Turnouts for Emergency Sidings	4 u.	$ 1,25 M ea.	$ 5,0 M
Turnouts for Workshop	2 u.	$ 1,25 M ea.	$ 2,5 M
Sub-Total			$ 30,1 M
INFORMATION SYSTEM	189,5 d.km	$ 0,51 M/d.km	$ 96,6 M
TOTAL CAPITAL COSTS			$ 235,0 M

Note: Cost estimates by TransRapid International in DM 1983.
Exchange rate in September 1983: 2,15 DM / CDN $.

The turnouts consist of flexible guideway sections made of a continuous steel beam that is bent elastically into the branching direction by a hydraulic control system. The turnout position detection apparatus is interlocked with the guideway-mounted information system to ensure fail-safe route protection.

4.12 Operation and Maintenance

A detailed analysis of operating procedures, personnel, and costs was performed for the Maglev system. The number of positions to be filled was estimated based on operational requirements and the staff required to fill each position was evaluated. Salary costs were derived from those prevailing at VIA Rail. The result is shown in Table 4-6.

For estimating maintenance costs, it is not possible to refer to existing maintenance practices and observed costs. Maintenance costs were evaluated by exploiting the observed correlation between the useful life of electrical, mechanical, and structural components used in a transportation system, and their annual maintenance cost as a fraction of their capital cost. The result of using this approach is shown in Table 4-7.

Power consumption costs are estimated at $10,1 M/year in 1991; with consist lengthening, they would rise by 33% in 1993 and 25% in 1999.

Table 4-6

Breakdown of 1991 Operating Costs for Maglev

Position	Staff	Direct Salaries ($M)	Indirect Salaries ($M)	Total ($M)
Pilots	20	1,34	0,24	1,32
Conductors	20	1,24	0,22	1,22
Stewards	60	1,86	0,33	1,84
Train Operation Salaries				4,33
Material Costs for Train Operation (10%)				0,44
Total Costs for Train Operation				4,82
Station Manager	4	0,22	0,16	0,38
Station Masters	16	0,83	-	0,83
Assistant Station Masters	16	0,64	-	0,64
Station Personnel	138	4,28	-	4,28
Station Operation Salary Costs				6,13
Material Costs for Station Operation ($0.80 per passenger)				1,03
Total Costs for Station Operation				7,44
Reservation Agents	33	1,02	0,19	1,21
Salary Costs for Reservation				1,21
Material Costs: Included in Station Operation				-
Total Costs for Reservation				1,21
System Operation Manager	1	0,06	0,05	0,10
Terminal Supervisors	10	0,52	-	0,43
Dispatchers	5	0,22	-	0,18
Operators and Assistants	15	0,56	-	0,47
Total				1,18
TOTAL OPERATING COST				14,65
GENERAL AND ADMINISTRATIVE (8%)				1,17
TOTAL (CDN $M/year, 1983)				15,82

Table 4-7

Maintenance Costs for Maglev in 1991

System Element	Useful Life (Years)	Maintenance Factor (%)	Capital Cost ($M)	Annual Maintenance Cost ($M/year)
VEHICLES (1991)				
Mechanical Components	30	3,0	65,8	1,97
Levitation and Guidance	15	4,7	56,9	2,67
Propulsion System	15	4,7	5,5	0,26
Command and Control Syst.	10	5,5	5,5	0,31
		(4,7)	111,5	5,21
GUIDEWAY STRUCTURE				
Beams	90	0,4	379,0	1,52
Bearings	30	3,0	15,2	0,46
Piers	90	0,4	68,7	0,27
Foundations	70	0,6	179,3	1,07
Other Structures	90	0,4	53,9	0,22
		(0,5)	696,1	3,54
GUIDEWAY EQUIPMENT				
Guidance Rails	60	0,9	108,3	0,97
Turnouts	30	2,1	30,1	0,63
		(1,2)	138,4	1,60
POWER & CONTROL				
Substations	40	1,6	77,6	1,24
Circuit Connections	32	2,0	90,9	1,82
Stator	30	2,1	210,7	4,42
Signalling System	20	2,9	96,6	2,80
Communications	20	2,9	3,5	0,10
		(2,1)	479,3	10,38
FACILITIES AND BUILDINGS				
Stations	40	1,6	7,2	0,11
Maintenance Building	40	1,6	4,5	0,07
Maintenance Equipment	40	1,6	5,5	0,09
		(1,6)	17,2	0,27
ADMINISTRATION (8%)				1,68
TOTAL (CDN $M, 1983)	-	-	1 442,5	22,68

5.

Financial Analysis

5. FINANCIAL ANALYSIS

This financial analysis provides comparisons of capital costs and annual costs between the two technologies; it establishes the ticket cost that would provide the necessary revenues to offset these costs and their associated financial charges to maintain the operation profitable and solvent. Finally, optimized Rail and Maglev systems are compared.

5.1 Comparison of Capital Costs

Chapter 3 presented a detailed description of the basic Rail system, together with an estimate of the corresponding procurement and construction costs. Similar data was presented for the Maglev system in Chapter 4. These data are the basis for this comparative analysis of capital costs. Construction costs cover all the subsystems and components that are required for both HSGT systems to be fully operational on January 1, 1991.

Capital costs were given in mid-1983 Canadian dollars. For estimates prepared in mid-1983 Deustchmarks by TransRapid International, a conversion rate of 2,15 DM/CDN$ was adopted; this was the prevailing commercial rate in September 1983.

As legal fees for the acquisition of land and relocation or demolition of buildings for the creation of a right-of-way on private land could be as high as the cost of the land or buildings itself, a provision of 100% of the expected acquisition costs has been made for legal fees.

The cost of system design has been estimated at 1% of the total direct cost. The cost of professional services for preliminary and detailed engineering for subsystems and components has been evaluated at 4% of the direct capital costs for manufacturing and construction; the cost of construction management services also has been evaluated at 4% of the total direct capital costs.

No estimate has been made to this point for the cost of financing the project; this will be taken into consideration in the financial analysis, as explained later.

Total capital costs are given comparatively for both systems in Table 5-1, where subsystems and components are not listed in the order in which they were discussed in Chapters 3 and 4; rather, they are presented in an order which facilitates the identification of the differences between both systems.

Table 5-1

Comparative Capital Costs for Rail and Maglev

SECTION Item	Capital Costs (CDN $M 1983)		Cost Ratio (Maglev/Rail)
	Rail	Maglev	
VEHICLES			
Sub-Total	94,5	111,5	1,18
INFRASTRUCTURE			
Land Acquisition	2,6	12,2	4,73
Site Preparation	53,3	19,4	0,36
Foundations	83,6	179,3	2,14
Piers	-	68,7	-
Guideway Beams	-	379,0	-
Guideway Bearings	-	15,2	-
Grade Separations	39,7	-	-
Special Structures	44,6	47,6	0,94
River and Stream Crossings	72,5	6,3	0,09
Track / Guidance Rails	113,3	108,3	0,96
Turnouts	14,3	30,1	2,10
Sub-Total	423,9	866,1	2,04
POWER AND CONTROL			
Power Supply	3,3	168,5	51,06
Power Distribution	38,9	210,7	5,42
Signalling	41,1	96,6	2,35
Communications	3,5	3,5	1,00
Sub-Total	86,8	479,3	5,52
FACILITIES			
Stations	3,1	7,2	2,29
Maintenance Building	4,5	4,5	1,00
Maintenance Equipement	5,5	5,5	1,00
Sub-Total	13,1	17,2	1,31
TOTAL DIRECT CAPITAL COST	618,3	1474,1	2,38
Legal Fees	2,6	12,2	4,35
Design (1%)	6,2	14,7	2,37
Engineering (4%)	24,7	59,0	2,39
Construction Management (4%)	24,7	59,0	2,39
Sub-Total	58,2	144,9	2,49
TOTAL CAPITAL COST	676,5	1619,0	2,39

In Table 5-1, "Land Acquisition" refers, in both cases, to the acquisition of land and the relocation of buildings necessary for creating a new right-of-way for the HSGT system; it does not include the rental of space from Railways. As Maglev is on a new right-of-way for a greater proportion of the route (85,5% versus 40,2% for Rail), land acquisition is naturally more important for Maglev.

For Maglev, "Site Preparation" consists only of building an access road, as the height of guideway piers can be varied with the terrain. Site preparation is more expensive for Rail, as it requires preparing a roadbed to tight geometric and compaction standards.

For Rail, "Foundations" consist of laying the track foundation, sub-ballast, and ballast; this can be done with a high degree of mechanization. Foundations for Maglev consist of a large number of discrete elements, which must be built individually in place and are less amenable to production-type construction methods. This, the high loads and the stringent tolerances explain the cost differential.

Piers for Maglev are essentially a result of the decision to use an elevated guideway. Although they are not strictly comparable, grade separations for Rail are perhaps the closest equivalent to the Maglev piers.

Guideway beams and bearings, for which there is no Rail equivalent, are clearly a requirement resulting from the use of the magnetic technology: as the efficiency of the magnetic levitation varies with the air gap, a rigid structure is needed to ensure the stringent positional tolerances that will maintain its efficiency.

Special structures consist mainly of a tunnel in Mirabel for Rail; this requirement is route-related. In the case of Maglev, special structures are rigid frames to carry the guideway beams over railway tracks (approximately 14,5% of the route by length).

Track and guidance rails have essentially the same guidance function; railway tracks also have a support function, filled by guideway beams in the case of Maglev. There is not a large difference in costs. Rail turnouts are more simple than Maglev's.

Power is supplied to vehicle consists through sub-stations in both cases. In the case of Rail, the voltage drop in distribution affects mainly the size of sub-stations. In the case of Maglev, it affects both the size and the number of sub-stations. Maglev sub-stations are also more complex because of the need to supply power to the guideway with variable frequency and voltage (and the transformation and switching arrangements that this implies).

This is where the greatest difference in costs between the two systems occurs. It can be explained by speed and by technology. A system

Table 5-2

Comparative Operating Costs in 1991

SECTION Item	Operating Costs ($M 1983 / year)		Rationale for difference
	Rail	Maglev	
TRAIN CREWS			
Enginement / Pilots	2,77	1,32	Shorter Maglev Turnaround
Conductors	1,53	1,22	Shorter Maglev Turnaround
Stewards	3,07	1,84	Shorter Maglev Turnaround and Consists
Material Costs (10% of above)	0,74	0,44	-
Sub-Total	8,11	4,82	
STATION PERSONNEL			
Management	0,38	0,38	Same number of Stations
Masters and Assistants	1,47	1,47	Same number of Stations
Ticket Agents	1,67	2,54	Varies with Traffic
Ticket Takers	0,50	0,50	-
Baggage Handlers	0,50	0,50	-
Janitors	0,74	0,74	-
Material Costs	1,03	1,31	Varies with Traffic
Sub-Total	6,29	7,44	
RESERVATION PERSONNEL			
Direct Cost	0,81	1,02	Varies with Traffic
Indirect Cost	0,15	0,19	Varies with Traffic
Sub-Total	0,96	1,21	
SYSTEM PERSONNEL			
Management	0,10	0,10	
Supervisors	0,65	0,43	Crew Change at Mirabel
Dispatchers	0,18	0,18	
Operators	0,46	0,47	
Sub-Total	1,39	1,18	
TOTAL	16,75	14,65	

operating at 400 km/h naturally requires more power than one operating at 200 km/h. Also, the Rail system requires only three substations while the Maglev system has 10, due to the need to divide the route into segments and sections for power supply. Any increase in train traffic for Rail would require additional substations. In the case of Maglev, additional substations would only be needed when there is a Maglev train on each route segment of 11 or 25 km.

There is a very high difference also in power distribution costs. This is due to the relatively low power factor of the linear motor, which requires a large number of circuit connections and a stator with a high level of technology. By contrast, the Rail power system is more tolerant to voltage variations and the catenary design and production methods are more industrialized.

Differences in cost between other components do not require much specific explanation.

5.2 Comparison of Annual Costs

There are five major components of annual costs: operating salaries and material costs, maintenance labour and supply costs, power supply and energy consumption charges, land and building rentals, administration; these components are the same for both systems.

The 1991 operation costs are given for both systems and compared in Table 5-2. Initially, Maglev costs are lower; this is chiefly due to the higher productivity of train crews, which results from the higher speed of Maglev. With time and the growth of traffic, however, Maglev operating costs eventually become greater than Rail's: this is related to the size of the station and reservation staffs.

The 1991 maintenance costs are compared in Table 5-3. The ratio of Maglev to Rail maintenance costs is similar to the ratio of their capital costs, and this relationship does not change noticeably with time. Care should be exerted when drawing conclusions on the difference between maintenance costs: whereas Rail costs were estimated by comparison with observed costs on similar systems, Maglev costs were derived from capital costs using maintenance factors related to life of components.

The greatest difference is in power supply and energy consumption: $1,5 M/year for Rail and $10,1 M/year for Maglev in 1991, with the difference increasing somewhat over time. This great difference is essentially related to speed and technology. As Maglev's speed is twice that of Rail, considering that aerodynamic drag (the major component of resistance at 200 km/h and above) increases with the square of speed, that alone implies that Maglev's energy consumption is four times that of Rail. Over and above that difference, the larger number of substations for Maglev (10 instead of 3) implies a correspondingly greater monthly charge for installed power.

Table 5-3

Comparative Maintenance Costs in 1991

SECTION Item	Maintenance Costs ($M 1983 / year)		Rationale for difference
	Rail	Maglev	
VEHICLES			
Sub-Total	6,22	5,21	Fewer Maglev Vehicles
INFRASTRUCTURE			
Foundations	0,15	1,07	Included in Track - Rail
Piers	-	0,27	No Piers in Rail
Beams	-	1,52	No Beams in Rail
Bearings	-	0,46	-
Structures, other	0,34	0,22	-
Track / Rails	2,18	1,60	Track includes Foundation
Sub-Total	2,67	5,14	
POWER AND CONTROL			
Power Supply	-	3,06	Many more Maglev Substat.
Power Distribution	0,78	4,42	More complex Maglev Tech.
Signalling	0,41	2,80	More advanced Maglev Tec.
Communications	0,10	0,10	-
Sub-Total	1,25	10,38	-
FACILITIES			
Stations	0,40	0,11	-
Maintenance Building	0,75	0,07	Rail includes more items
Maintenance Equipment..	0,75	0,09	Rail includes more items
Sub-Total	1,90	0,27	
TOTAL	12,04	21,00	

In total, rentals amount to $3,0 M/year for Rail and $7,8 M/year for Maglev; this appears in contradiction with Rail's much more extensive use of existing railways and requires some explanation. When implemented along a rail right-of-way, the Maglev guideway is built over the tracks, practically precluding any other use of the air rights; Rail, by comparison, makes a smaller disturbance and uses only a 15 m strip rather than the full width. Furthermore, downtown Montreal, rental of right-of-way space in the Mount Royal Tunnel (the most expensive segment of the route), is shared between the Rail system and commuter services.

Administrative costs are almost equal for both systems: around $2,0 M year in 1991; they are fixed over time.

5.3 Ticket Cost

The general objective of a financial analysis is to evaluate whether a capital investment can be recuperated from the stream of revenues that it will generate. In this instance, the concern is whether the revenues generated by the sale of tickets will allow full recovery of capital and operating expenditures, including applicable financial charges.

The financial analysis was performed using the MRAIL computer software developed at CIGGT for similar applications. The result of the MRAIL analysis is a year-by-year schedule of the average revenue required from each Ottawa-Montreal one-way ticket. This unique value is the average yield from all ticket sales, considering that Montreal-Mirabel, Ottawa-Mirabel, West-Island-Mirabel, and West-Island-Ottawa tickets are also sold, and that the actual fares would vary considerably as a result of various discounts and premiums.

As capital recovery charges change over the years, reflecting asset depreciation, the average ticket cost also varies over the years (even in real terms, i.e. netting out the effect of inflation). This is why the twenty values for the average ticket cost can be condensed in a single value: "the single-price average ticket cost", a price such that it would not vary (in real terms) over the 20-year analysis period.

The "single-price average ticket cost", over 20 years, is $57.14 for Rail and $93.69 for Maglev, (in 1983 dollars), a ratio of 164%. At present, a comparable rail ticket costs $25.00 and an airline ticket, $80.00.

5.4 Sensitivity Analysis

The objective of the sensitivity analysis is to explore how much the basic conclusion of the financial analysis (that a Maglev ticket is 164% more expensive than a Rail ticket) changes with changes in values on several underlying system and financial parameters.

The first such parameter tested was traffic volume. As expected with any capital-intensive project, the unit ticket cost declines with an increase in passenger volume. For instance, doubling the passenger demand results in the following reductions in unit ticket costs: 39% for Rail and 40% for Maglev. The "elasticity" of both systems is the same, i.e. similar passenger volumes increases (in %) produce similar ticket cost reductions (in %), and vice-versa.

Inflation also has the same effect on both systems and, whether changes in the general inflation or changes in differential cost escalation for specific components are considered, the ticket cost ratio remains around 160%. This is because both systems have a similar cost structure.

As both systems are similarly capital-intensive, both show the same relative changes in ticket cost for a given change in financing rate. It is not obvious that both systems would benefit from the same financial treatment, however. The financial community would probably view Maglev, with its substantially less proven technology (and an expensive infrastructure that has no known alternative use), as a riskier financial proposition than Rail. As a result, financial rates are likely to be somewhat higher for Maglev, and, furthermore, that system would be more vulnerable to changes in financing rates.

5.5 Optimized Systems

The analysis has been conducted to date on two "basic" systems. From the outset, the basic Rail system was assumed to have a double track and the Maglev system, a double guideway.

This was a reasonable assumption for undertaking system definition and cost estimation. Indeed, when a new HSGT system is built in Canada, it will in all like likelihood be built from Montreal to Toronto through Ottawa. The double track or guideway would then be required for the system to have a sufficient capacity.

When matching cost and revenues, however, as in this financial analysis, it is more logical to consider only the costs that are necessary to provide the service required to generate the revenues under consideration.

In other words, if the passenger demand between Ottawa and Montreal does not justify a double track or guideway, then a less costly system should be considered. And indeed, the necessary capacity can be obtained with predominantly single-track systems.

An optimized Rail system would require only 297 km of single track rether than 418 (two passing sections of 20 km must be provided and the track would be double on Montreal Island). The cost of sub-ballast, ballast, track materials and construction, catenary, and wayside signalling equipment would be reduced in proportion. Right-of-way acquisition, roadbed preparation, structure and station construction costs would be the same as for a double-track system. The capital cost of a single-track Rail system would be $564,6 M rather than $676,5 M for the double-track basic system, a reduction of 16,5%.

An optimized Maglev system would require only 224,5 km of single guideway rather than 379,0 (one passing section of 25 km, two double sections of 5 km near terminals). The cost of guideway beams and bearings, guideway foundations and piers (except over railways), stator, guidance rails, circuit connections, and information system would be reduced accordingly. Right-of-way acquisition, site preparation, bridge foundations and piers, and station construction costs would be the same as for the basic double-guideway system. The capital cost of a single-guideway Maglev system would be $1175,6 M rather than $1602,4 M for the basic double-guideway system, a reduction of 32,9%.

Annual costs do not change except for infrastructure maintenance. As a result, the ratio of the Maglev single-price ticket cost to Rail's is 135% rather than 164%. This reflects a greater effect of infrastructure on cost optimization in the case of Maglev It is related to technology: due to its greater speed, the single-guideway Maglev system requires only one passing section rather than two in the case of Rail.

6.

Impact Evaluation

6. IMPACT EVALUATION

For evaluation purposes, the following impacts resulting from the implementation or operation of a HSGT system were analyzed in seeking differences between the two technologies:

- technical risks;
- socio-economic impacts;
- aesthetic and environmental impacts.

Technical risks must be considered, as they could delay the system commissionning or reduce its availability. These will be greater for Maglev, which has not yet been placed in revenue service. Two aspects of these risks should be considered: possible technical modifications to the system as a revenue service version is being developed from the prototype (this would tend to reduce costs), and technology adaptation to Canadian climatic conditions (also a problem for Rail).

Three components of energy impacts should be noted: annual "direct" energy consumption for system operation (primarily vehicle propulsion), once-over "indirect" energy consumption for system implementation, and energy savings from modal shifts. Maglev has a higher direct energy consumption due both to its higher speed and its technology. Maglev also has a significantly greater indirect energy consumption due to its higher construction cost. Finally, due to its higher speed, Maglev will attract more automobile drivers and passengers and reduce petroleum consumption. Overall, however, energy consumption is probably not a highly significant factor in this comparison.

Amongst socio-economic impacts, one notes the creation of temporary jobs for the construction of the system and that of permanent jobs for its continued operation and maintenance. Maglev will create approximately twice as many temporary jobs as Rail; this corresponds roughly to the difference in construction costs, adjusted for technology and Canadian content. Maglev will create about 20% more permanent jobs (1130 instead of 889), due in part to its higher maintenance costs. This difference would increase with traffic and be reduced if Maglev maintenance cost estimates were revised downwards.

Significant physical impacts are noise and visual intrusion. At low speed in urban areas, Rail will be noisier on account of the friction in its running gear. At high speed in rural areas, Maglev will be noisier on account of skin friction due to its greater aerodynamic drag. In both cases, the disturbance effects will probably not be significant.

Visual impacts are chiefly due to the presence of the infrastructure. With its elevated guideway, Maglev would create a greater visual intrusion in urban areas and less disruption in rural areas. This is discussed in greater detail below.

In this study, the detailed analysis of Rail and Maglev routes on low-scale maps provided a fine opportunity to assess these effects in a variety of representative situations. The quality of the assessment was enhanced by the availability of data and previous studies, numerous site visits, and by the fact that members of the study team had substantial experience with the areas studied. The following observations were made during the route analyses.

These observations are presented below as answers to the following questions: Can it be done? How? What are the impacts? First, the possibility of using existing rights-of-way was analysed and, second, problems associated with the creation of new rights-of-way. Inferences drawn from these observations are presented separately for urban and rural areas.

The use of existing railway rights-of-way for operating HSGT services appears a promising solution: in the study area, there are numerous railway rights-of-way, and most are presently under-utilized: being 30 m in width, they typically carry one track only where there is room for five or perhaps even six.

In the case of Rail, the use of existing railways presents no major technical or operational problem. An exclusive double track for a high speed train would typically be placed on the edge of the right-of-way, on the side with the fewest industrial spurs (these could still be accessed occasionally across high speed tracks with proper protections). If there is no room for two more tracks, the high speed operation could (with possibly some level-of-service degradation) share tracks with conventional railway services or be operated on a single track for a short distance: adequate signal interlocking would ensure the safety of the joint operation.

In an urban area, the insertion of two additional tracks in an existing railway right-of-way would attract little attention. The situation could be different in a rural area, however; it certainly would be between Montreal and Ottawa. There, due to the almost non-existent rail traffic, farm operations are conducted as if there was no track. Frequent operation of high speed trains would change that dramatically. The right-of-way would have to be fenced, precluding uncontrolled crossing by farmers, their animals and machinery. The disruption impact would be significant, and corrective measures (probably expensive) would have to be taken to mitigate it. Such measures have been analyzed in some detail and no solution has been found that was simple, unexpensive, and satisfactory.

Inserting a Maglev guideway on an existing railway is even more difficult. Placing a double guideway at grade on the edge of the right-of-way would require approximately 15 m, consuming half of the available width. In some cases, the remaining width could be just sufficient for accomodating existing traffic and serve rail-side industries; access to one side of the right-of-way would practically be condemned. This solution is thus not very interesting.

A different solution was considered in this study: the construction of an elevated guideway above the existing tracks. The two Maglev guideway beams would be supported on a rigid frame built across th track and designed to provide a 12 or 18 m wide clearance for railway operations. The construction of such a structure creates significant visual intrusion; by building it above railway tracks, one may alleviate the problem, if the rail line crosses industrial rather than residential neighborhoods.

The use of existing expressway rights-of-way was also investigated. Apriori, this appears to be a good solution from the standpoint of physical impacts and disruption effects. Many North American expressways are built with a large median, which could accomodate a Rail or Maglev system.

This potentially attractive solution is not easy to implement, however. Presuming space is available in the median, most, if not all, structures crossing the median would have to be rebuilt. Drainage would have to be reorganized, and snow removal (as medians are used to accumulate snow). In rural areas, this approach is probably feasible. In urban areas, however, the median is often too narrow. Access to and egress from the expressway would probably require major structural works. In this case, then, costs, rather than impacts, dominate the discussion. In this study, no expressways were found that had an appropriate alignment.

Creating a new right-of-way in an urban area is, today, only a last resort solution, because of very high costs and strongly negative impacts. It was not found necessary to resort to that solution in the study. If it were, the guideway or track would probably have to be built underground. That being the case, Maglev would be at a cost disadvantage, because of the broader tunnel gauge required.

Creating a new right-of-way in a rural area presents fewer problems. Land acquisition costs are low and, due to low land use intensity, physical impacts are not a major issue. Disruption effects must be considered, however. That being the case, Maglev has an advantage in routing flexibility, as an elevated Maglev guideway does not create a physical barrier that would disrupt communities or interfere with human activities such as farming.

Summarizing, then, the insertion of HSGT guideways is likely to create unfavorable invironmental impacts. These will be smallest when implementing an exclusive double track in an existing railway right-of-way in an urban area. In a rural area, depending on land use, that solution may lose much of its interest, due to the disruptive effect of the barrier created by the fenced right-of-way. Maglev guideways at grade could be implemented in existing railways under certain conditions only, but they could be built on a structure over existing tracks.

In general, the creation of new rights-of-way in a dense urban area is likely to require underground construction, in which case the Rail system would enjoy a cost advantage due to its smaller tunnel cross-section. The creation of new right-of-way in a rural area might be made more acceptable by using an elevated construction that has reduced disruptive effects; in this case, the Maglev infrastructure would present a cost advantage.

Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 6041F

Évaluation comparative de technologies: transport terrestre à grande vitesse entre Montréal–Mirabel–Ottawa

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement
des transports

Transports Canada

DÉCEMBRE 1984

CA1
DTC 847
84
C57SZ
c.2

Canada

Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 6041F

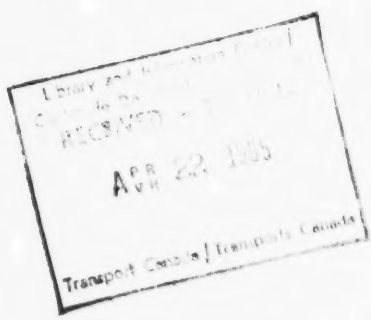
Évaluation comparative de technologies: transport terrestre à grande vitesse entre Montréal–Mirabel–Ottawa

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement
des transports

Transports Canada

DÉCEMBRE 1984



Canada

Projet Canatrans No. 37229

TP 6041F

EVALUATION COMPARATIVE DE TECHNOLOGIES: TRANSPORT TERRESTRE A GRANDE VITESSE ENTRE MONTREAL - MIRABEL - OTTAWA

Rapport sommaire

Bernard-André Genest

Ce projet a été réalisé pour Approvisionnement et Services Canada, contrat no. OSD82-00061, pour le compte de la direction de la Technologie avancée, Centre de développement des transports, Transports Canada

Canatrans Consultants Ltd., Montréal (Québec) Canada
avec
Transrapid International, Munich (République Fédérale Allemande)

Décembre 1984

Ce rapport résulte d'une recherche effectuée par Canatrans Consultants Ltd. avec Transrapid International. Le rapport présente les points de vue des auteurs et ne reflète pas nécessairement les opinions des consultants ou de l'organisme mandataire.

Also available in English under the title: "Comparative Technology Assessment: Montreal-Mirabel-Ottawa High Speed Ground Transport, Summary Report". (TP6041E)

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP6041F	4609	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Evaluation comparative de technologies: Transport terrestre à grande vitesse entre Montréal-Mirabel-Ottawa. Rapport sommaire	Décembre 1984
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant: 37229
7. Auteur(s): Bernard-André Genest	8. N° de dossier Transports Canada: D1465-356-2
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant: Canatrans Consultants Ltée, 1130 ouest, rue Sherbrooke, Montréal, Québec, Canada H3A 2R5	10. N° de dossier — ASC: 10SD.T8200-2-2503
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada: OSD82-00061
12. Nom et adresse de l'organisme parrain: Centre de développement des transports (CDT), Transports Canada, 1000 ouest, rue Sherbrooke, suite 2421, Montréal, Québec, Canada H3A 2R3	13. Genre de rapport et période visée: Rapport sommaire
	14. Code de l'organisme parrain:
15. Remarques additionnelles: Résumé du rapport final: Comparative Technology Assessment: Montreal-Mirabel-Ottawa High Speed Ground Transport (TP5457E)	16. Agent de projet — CDT: Maurice Audette

17. Resumé

Ce rapport présente une évaluation comparative de deux technologies de transport terrestre guidé à grande vitesse: un système ferroviaire électrifié utilisant la technologie fer-sur-fer conventionnelle et doté d'une vitesse d'exploitation maximale de 200 km/h d'une part; et un système à technologie avancée utilisant des principes d'attraction magnétique pour la sustentation, le guidage et la propulsion du véhicule, d'autre part, ce dernier étant capable d'une vitesse d'exploitation maximale de 400 km/h.

La comparaison est basée sur une application hypothétique: un service grande vitesse entre Montréal et Ottawa, une distance de 200 km environ, via l'aéroport international de Mirabel. A partir de leurs données techniques et de performance, on a effectué pour chaque technologie la conception schématique d'un système complet à des normes de service communes, formulées pour répondre aux exigences de la clientèle envisagée.

Des estimations détaillées des coûts de mise en oeuvre et d'exploitation sont présentées dans le rapport, de même qu'une analyse financière comparative basée sur une évaluation du coût du titre de transport pour chaque système. On analyse la sensibilité de ce coût à des variations de la valeur des principaux paramètres économiques pertinents. Le rapport comprend aussi une évaluation des deux technologies quant aux différences dans leurs impacts; on y met l'accent sur les difficultés d'insertion dans le milieu des couloirs de circulation des systèmes de transport terrestre grande vitesse.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Transport terrestre à grande vitesse, Transport ferroviaire, sustentation magnétique, Transport interurbain, Montréal, Ottawa, Evaluation d'impacts comparaison technologique.	Le CDT dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
aucune	aucune	70	-

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP6041F	4609	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Evaluation comparative de technologies: Transport terrestre à grande vitesse entre Montréal-Mirabel-Ottawa Rapport sommaire	December 1984
	6. Performing Organization Report No. 37229
7. Author(s) Bernard-André Genest	8. Transport Canada File No. D1465-356-2
9. Performing Organization Name and Address Canatrans Consultants Ltd. 1130 West, Sherbrooke Street Montreal, Quebec, Canada H3A 2R5	10. DSS File No. 10SD.T8200-2-2503
	11. DSS or Transport Canada Contract No. OSD82-00061
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) Transport Canada 1000 West, Sherbrooke Street, suite 2421 Montreal, Quebec, Canada H3A 2R3	13. Type of Report and Period Covered Summary report
	14. Sponsoring Agency Code
15. Supplementary Notes This is a summary report of the final report: Comparative Technology Assessment: Montreal-Mirabel-Ottawa High Speed Ground Transport, (TP5457E)	16. TDC Project Officer Maurice Audette

17. Abstract

This report presents a comparative assessment of two technologies for high speed ground transport (HSGT): an electrified rail system using conventional wheel-on-rail technology with a maximum operating speed of 200 km/h, and an advanced system using magnetic attraction for vehicle support, guidance, and propulsion, with a maximum operating speed of 400 km/h.

The comparison is based on a given hypothetical application: service between Montreal and Ottawa, a distance of some 200 km, through Mirabel International Airport. Based on their technical characteristics and performance, a conceptual system design was developed for each technology, against common service specifications formulated to reflect the requirements of that application.

Detailed capital and operating cost estimates are presented. The estimated ticket cost is used as a basis for a comparative financial analysis; the sensitivity of that cost to the relevant economic parameters is explored. The report also contains an evaluation of the differences in impacts between the two technologies with emphasis on the environmental insertion of guideways for HSGT systems.

18. Key Words	19. Distribution Statement
High Speed Ground Transport, High Speed Rail, Maglev, Intercity Passenger Transport, Montreal, Ottawa, Financial Analysis, Impact Evaluation, Technology Assessment.	Limited number of copies available from TDC

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Nil	Nil	70	-

1.

Objectifs et méthodologie

1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

La présente étude concerne les systèmes de transport terrestre à grande vitesse et leur utilisation pour le transport interurbain des voyageurs.

L'objectif principal de l'étude est d'effectuer une évaluation comparative de deux de ces systèmes: l'un utilise la technologie ferroviaire classique et l'autre, les principes de la lévitation magnétique. L'analyse comparative doit permettre d'identifier les principales différences entre ces deux technologies et d'en évaluer les répercussions sur le niveau de service, les coûts et les impacts des systèmes.

L'objectif secondaire de l'étude est de rassembler des données complètes et à jour sur la technique et le coût des deux systèmes et de les organiser pour faciliter leur utilisation éventuelle pour la planification et la prise de décision en matière de transport interurbain.

Pour réaliser ces objectifs, il a fallu que, tout au long de l'étude, l'on s'efforce de bien comprendre les différences essentielles entre la lévitation magnétique et la technologie ferroviaire classique. Comme la présente étude n'en est pas une de planification, on n'a pas tenté d'y déterminer si l'un ou l'autre des systèmes (ou à la rigueur les deux) était avantageux, justifié ou justifiable ou encore si un système serait, globalement, supérieur à l'autre.

Pour que l'évaluation comparative se maintienne dans la perspective visée, compte tenu de l'ampleur de l'étude, tous les aspects qui ne sont pas essentiels ont fait l'objet d'un développement minimum. En effet, l'objectif de l'étude n'était pas d'établir une liste exhaustive des composantes des deux systèmes, ni de préparer une estimation complète de tous leurs coûts d'investissement et d'exploitation.

Pour que la comparaison soit réaliste, on a considéré les caractéristiques contextuelles d'une application donnée: sa géographie, sa topographie, ses besoins en service, etc. L'application dictée par le mandat est un service interurbain à grande vitesse entre Ottawa et Montréal, comportant (au moins) un arrêt intermédiaire, à l'aéroport international de Mirabel.

Quoique pouvant limiter la généralisation des conclusions de l'étude, le choix de ce corridor comme "laboratoire" d'analyse présente des avantages marqués. En particulier, cette approche permet d'étudier l'adaptation de chaque système aux difficultés d'un site et à diverses

contraintes physiques et institutionnelles; on peut ainsi mesurer la souplesse de chaque technologie et son potentiel d'adaptation à des conditions locales données.

La démarche adoptée dans l'étude fut d'utiliser au maximum les données disponibles et d'obtenir les données complémentaires à la source même aussi souvent que possible. De cette façon, on a accrû la crédibilité des résultats et facilité leur comparaison future à des résultats acquis.

Les principales étapes de l'évaluation comparative furent les suivantes:

- définition d'un technologie de référence;
- prévisions de trafic;
- formulation de normes de service communes;
- définition de chaque système en fonction de l'application envisagée;
- estimation du coût des investissements et de l'exploitation;
- évaluation des impacts.

C'est pour identifier précisément ce que l'on comparait que l'on a fixé dès le départ les principaux paramètres techniques qui caractérisent chaque technologie: dimensions et dégagements requis, vitesse, taux d'accélération et de freinage, pentes maximum et rayons de courbure minimum franchissables, masse à vide et en charge, motorisation, etc. Ces paramètres, qui constituent la définition de référence pour la technologie, déterminent la configuration et la performance de chaque système.

Des prévisions de trafic furent préparées pour chaque technologie analysée; ceci fut fait séparément pour les déplacements interurbains, aéroportuaires et autres. Aucune cueillette de nouvelles données ne fut entreprise, mais les prévisions disponibles furent modifiées pour tenir compte de la performance de chaque technologie et de l'élasticité observée de la demande de transport au temps de trajet réalisable.

Des normes de service communes furent établies pour la définition d'un système "de base" pour chaque technologie. L'utilisation de normes communes a permis d'éviter d'introduire, dans la comparaison des deux systèmes, des avantages pour l'un ou pour l'autre qui ne soient pas reliés à la technologie.

Pour chaque technologie, un système complet fut défini conceptuellement: il fut conçu pour se conformer aux normes de service formulées (ou même les dépasser). Cette définition englobait toutes les composantes du système: tracé, taille du parc, plan de la voie, infrastructure, ponts et viaducs, équipements de traction et de contrôle, stations, garage, atelier et autres équipements, ainsi que le personnel et les procédures d'opération et d'entretien. Les deux systèmes de base étaient comparables à plusieurs égards: nombre et localisation des stations, voie ou piste de roulement double, etc.

Une estimation des investissements requis et des coûts annuels fut ensuite préparée, en utilisant les mêmes hypothèses et les mêmes principes pour les deux systèmes. En effectuant une analyse financière de chaque système, on a déterminé les revenus nécessaires pour en rendre l'exploitation rentable et solvable. Après avoir déterminé, au moyen de cette analyse, le prix projeté du passage, on en a analysé la sensibilité aux variations de certains paramètres importants comme l'augmentation des coûts (générale ou particulière), les conditions de financement, le volume du trafic, ainsi que des changements dans les coûts d'investissement ou d'exploitation.

Une analyse financière analogue fut effectuée sur des systèmes "optimisés" utilisant une voie ou une piste de circulation double seulement là où c'est requis pour le seul trafic Montréal - Mirabel - Ottawa.

Finalement, les principales différences entre les impacts des deux systèmes furent identifiées. Outre les impacts socio-économiques, écologiques et esthétiques, la consommation d'énergie, la création d'emplois et les retombées industrielles furent étudiés.

2.

Technologie, niveau de service et trafic

2. TECHNOLOGIE, NIVEAU DE SERVICE ET TRAFIC

Les deux technologies considérées sont la technologie ferroviaire classique (roue de fer sur rail d'acier) et la technologie magnétique (lévitation par attraction).

Pour la lévitation magnétique, la technologie de référence est le système TransRapid, développé en République fédérale d'Allemagne, pour lequel on a récemment inauguré un centre d'essai à Emsland, dans le nord de l'Allemagne; on y a construit une piste circulaire de 32 km. Les Chemins de fer fédéraux allemands et la Deustche Lufthansa participent à la gestion de ce centre et à la supervision des essais.

Pour la technologie ferroviaire, on a considéré un système utilisant des rames électriques et doté d'une vitesse d'exploitation maximum de 200 km/h. On n'a pas considéré un véhicule précis, puisque plusieurs trains actuellement en exploitation possèdent les caractéristiques envisagées ou les dépassent.

2.1 Système à lévitation magnétique

Le véhicule, illustré à la figure 2-1, est composé de deux sections identiques séparables pour l'entretien; le véhicule est réversible et mesure 54 m de longueur, 3,7 m de largeur et 4,2 m de hauteur; entre les deux sections extrêmes, qui forment l'élément, on peut introduire jusqu'à quatre sections intermédiaires. Le véhicule enveloppe la structure de guidage, qu'il dépasse de 3,2 m (figure 2-2). Les forces de lévitation et de guidage sont exercées par des électro-aimants situés dans les bogies (il y a quatre bogies par section de véhicule) et dans la piste de circulation: la lévitation est ainsi basée sur l'attraction magnétique.

Le véhicule utilise un moteur linéaire synchrone pour sa traction; le stator du moteur est fait de laminations d'acier entourées de câbles et fixées sous la structure de guidage. Le courant électrique, livré à 115 kV, 60 Hz, est transformé et redressé à 4 à 6 kV c.c., 0-250 Hz dans des postes situés le long de la voie. Le véhicule est entraîné par un champ magnétique mobile généré par le stator; le captage de courant se fait donc sans contact mécanique. Pour que la lévitation magnétique fonctionne efficacement, les variations de l'entrefer doivent être très faibles: de 10 à 12 mm. Pour maintenir les tolérances requises, le véhicule est supporté sur une structure rigide: une poutre-caisson de 25 m de longueur et de 1,8 m de profondeur, construite en béton précontraint.

Si les routes transversales sont assez nombreuses, il y a avantage à construire la voie sur une série de piliers de hauteur telle que le dessous de la poutre soit à 5 m au-dessus du terrain: on évite ainsi la construction de nombreuses structures de dénivellation. La voie peut aussi être construite en tunnel ou au niveau du sol; dans ce cas, les extrémités des poutres reposent sur des radiers.

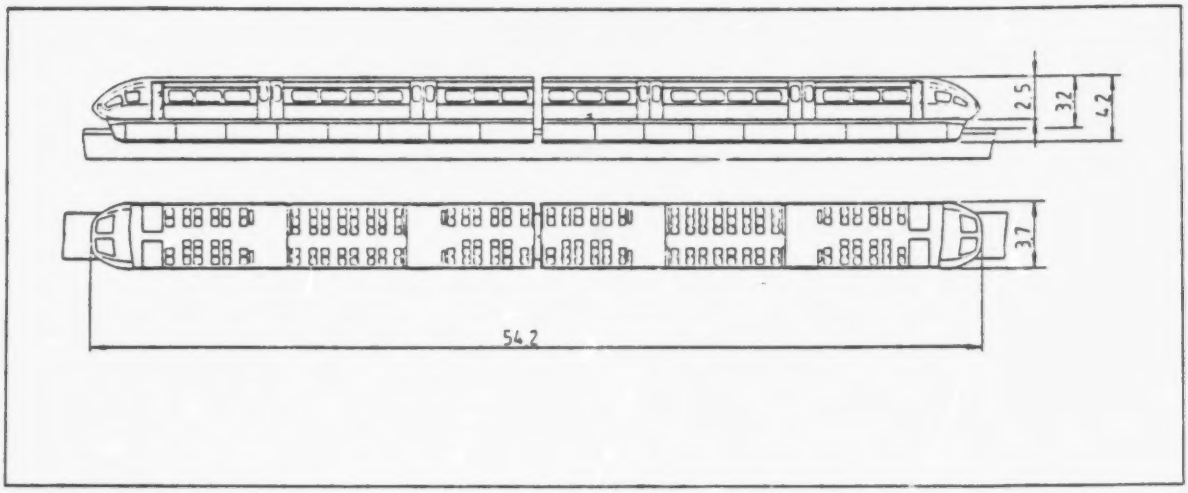
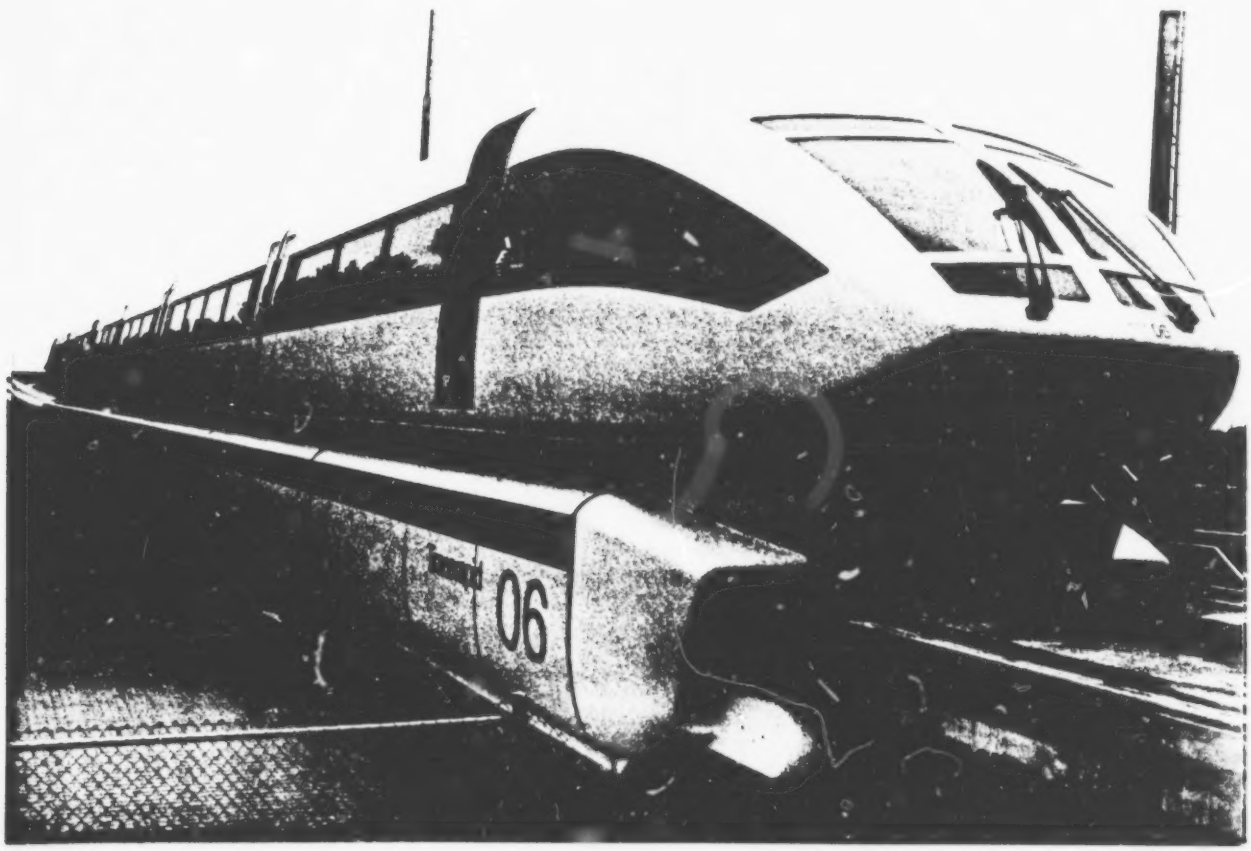


Figure 2-1 Véhicule magnétique: vue d'ensemble et principales dimensions



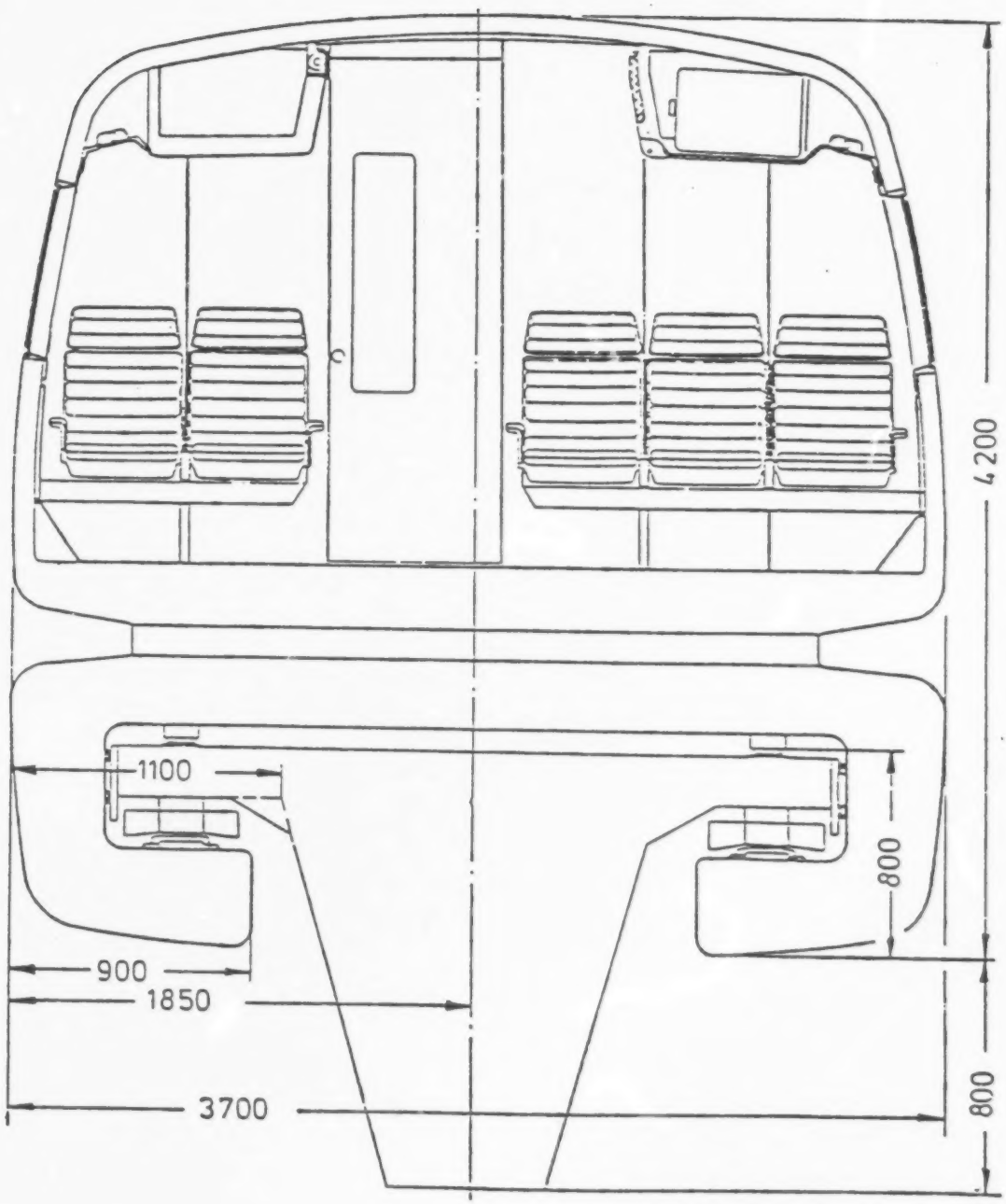


Figure 2-2 Le véhicule et la voie de guidage en coupe

La vitesse maximum d'exploitation est de 400 km/h, à cette vitesse, l'énergie requise pour la propulsion du véhicule, qui compte 192 sièges, est de 64 Wh/siège-km sur voie droite horizontale.

La géométrie de la voie est dictée par des contraintes techniques et des normes de confort. Avec un dévers de 12° et une accélération latérale ou verticale limitée à 1 m/s^2 par souci de confort, le rayon de courbure horizontale minimum est de 4 000 m à 400 km/h; celui des courbes verticales est limité à 25 000 m. La pente maximum franchissable est de 3,5% sur de longues distances et 5,0% sur de courtes distances. En milieu urbain, compte tenu de la longueur des interstations, on ne peut généralement pas atteindre la vitesse maximum et on se limite à 200 km/h environ. Cette vitesse plus basse réduit le niveau de bruit et permet de suivre un tracé plus sinueux.

2.2 Technologie ferroviaire

Un certain nombre de services ferroviaires actuellement en exploitation offrent la performance recherchée. Sauf pour le véhicule, ces systèmes sont semblables à plusieurs égards: leurs caractéristiques communes serviront de base à la définition du système ferroviaire envisagé.

L'exploitation régulière de matériel de traction diesel à haute vitesse endommagerait indûment la voie: le système ferroviaire sera donc électrifié. Le courant électrique, livré à 115 kV, 60 Hz, sera transformé en 25 kV monophasé pour être distribué le long de la voie par caténaire. Normalement, le fil de contact sera supporté par une structure souple, mais on utilisera des portiques enjambant l'emprise, là où elle comporte trois voies ferrées ou plus.

Le passage fréquent de trains circulant à 200 km/h implique l'élimination de tous les passages à niveau. Compte tenu des normes de service rigoureuses, le système sera exploité sur une voie ferrée double exclusive. L'infrastructure de la voie sera conçue pour n'exiger que peu d'entretien malgré la vitesse et la fréquence de service élevées: la qualité de la fondation et l'épaisseur de ballast seront choisies en fonction de cette exigence.

On a supposé qu'un véhicule canadien possédant la performance recherchée serait disponible en temps voulu: il s'agirait d'une rame réversible autonome dont les voitures ne seraient normalement séparées que pour l'entretien. Cette rame pourrait ressembler à une version électrifiée autopropulsée du train LRC: la voiture mesurerait 26 m de longueur et 3,2 m de largeur. La performance supposée est une combinaison de performances observées de différents véhicules étrangers en exploitation.

La vitesse d'opération maximum spécifiée est de 200 km/h; à cette vitesse, la consommation énergétique de traction est de l'ordre de 46 Wh/ siège-km sur une voie droite horizontale. La géométrie de la voie sera dictée par des contraintes techniques et les normes de confort retenues. Avec un dévers maximum de 6° et une accélération latérale ou verticale limitée à 1 m/s^2, le rayon de courbure horizontale

minimum est de 2 400 m à 200 km/h et le rayon de courbure verticale minimum, de 20 000 m. La pente maximum franchissable est de 2,5%.

2.3 Normes de service

Les normes de service furent établies à partir d'une analyse de la demande de transport et de la répartition modale observées. Une fois identifié un marché-cible, ses besoins particuliers furent analysés et une stratégie de service fut mise au point pour l'attirer. Cette stratégie fut traduite en normes de service devant servir à la définition de chaque système.

Le marché potentiel pour une liaison rapide Montréal - Mirabel - Ottawa peut être décomposé comme suit:

- les déplacements interurbains: le nouveau système (ferroviaire ou magnétique) remplacerait le service ferroviaire actuel et attirerait aussi des voyageurs utilisant présentement l'avion, l'autocar ou la voiture;

- les déplacements aéroportuaires à Mirabel répartis suivant:

  . les voyageurs aériens en provenance ou à destination de Montréal;

  . les voyageurs aériens en provenance ou à destination d'Ottawa:

    .. utilisant actuellement un mode d'accès terrestre;
    .. utilisant actuellement une liaison aérienne qui serait abolie lors de la mise en service du nouveau système;

  . les voyageurs aériens en correspondance entre Dorval et Mirabel;

- le trafic induit: des voyageurs utilisant le nouveau système pour un déplacement qu'ils n'auraient pas fait en son absence;

- le trafic de transit: des voyageurs utilisant le nouveau système pour une partie d'un déplacement plus long dans le couloir Québec-Windsor;

- les déplacements pendulaires effectués par des résidents de la région de Montréal.

Parmi tous ces types de déplacements, les voyageurs interurbains constituent nettement la clientèle-cible et la stratégie de service adoptée fut être élaborée en fonction de leurs besoins particuliers. On observe actuellement environ 3,5 millions de déplacements interurbains par an, dans les deux directions, entre Montréal et Ottawa. La répartition modale est la suivante: 1% par avion, 10% par chemin de fer, 17% par autocar et 72% par automobile. Les motifs de déplacements se répartissent comme suit: 63% pour fins de loisir et 37% par affaires (90% des trajets par avion, 45% par chemin de fer, 31% par autocar et 35% par automobile sont effectués par affaire).

Tableau 2-1

Normes de performance et de service

Domaine	Paramètre	Spécification
Etendue de la desserte	Localisation du terminus	Montreal: Central Station Ottawa: VIA Station
	Localisation Stations and their location	Mirabel : sous l'aérogare Ottawa : rien Montreal: station de banlieue possible, accessibilité facile du West Island
Qualité du service	Temps de trajet	75 minutes maximum d'un terminus à l'autre
	Heure d'exploitation	15 heures/jour 7 jours/semaine
	Fréquence	1 départ/h en moyenne; fréquences plus élevée en période de pointe
	Délais	Pas de délais sur la ligne avec les contraintes opérationnelles
Sécurité	Protection anit-collision	Anti-collision automatique Anti-survitesse automatique Protection automatique ds itinéraires Elimination des passages à niveau Freinage d'urgence: 4 m/s^2 maximum
	Opération des trains	Contrôle continu de la vitesse
	Supervision des trains	Localisation automatique des rames Communication directionnelle avec PCC Centralisation commandée du PCC
Confort dynamique	Accélération latérale	1 m/s^2 maximum
	Accélération verticale	1 m/s^2 maximum
	Secousses	0,5 m/s^3 maximum
	Vibrations	Limite de confort réduit ISO pour un trajet de 75 minutes

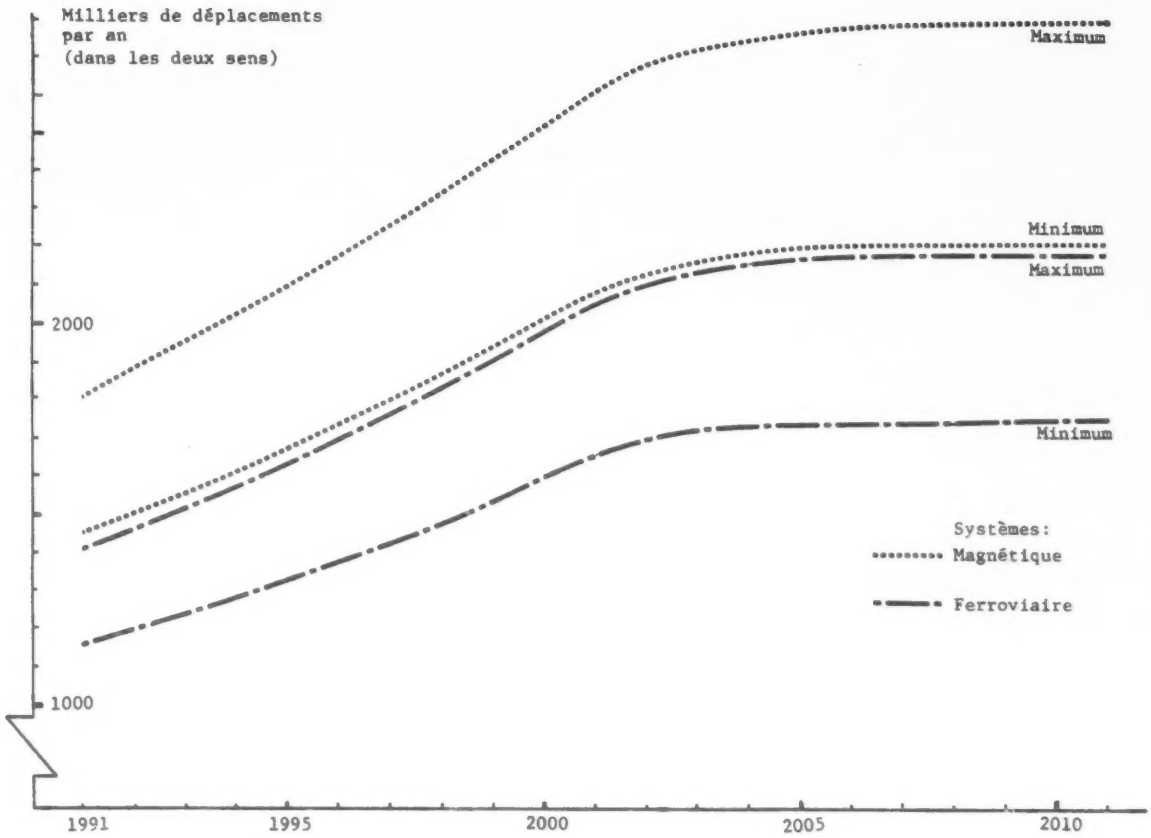


Figure 2-3 Evolution chronologique du trafic entre Mirabel et la station de banlieue

Compte tenu de la distribution géographique des points d'arrivée et de départ à Montréal, une station en banlieue ouest apparaît essentielle. Les normes de service retenues sont présentées au tableau 2-1.

2.4 Prévisions de trafic

Les prévisions de trafic furent préparées séparément pour les déplacements interurbains, aéroportuaires et induits et ce, pour chaque système. Les trafics de transit et de banlieue furent ignorés. Pour les déplacements interurbains, la base des prévisions fut le trafic ferroviaire observé en 1982, qui correspond à un temps de trajet de 125 min. On prévoit que ce trafic croîtra à raison de 4,5% par an jusqu'en 1986, puis à raison de 4,3% par an jusqu'en 1991 (2).

A cette date, le nouveau service envisagé ici serait inauguré. Compte tenu des performances indiquées, le temps de trajet d'un terminus à l'autre serait de 45 min pour le système magnétique et 70 min pour le système ferroviaire, temps d'arrêt inclus. Le trafic de 1991, quelle que soit la technologie, serait donc égal au trafic de 1990, augmenté de 4% (la croissance normale prévue), le produit étant augmenté encore de la proportion de nouveaux voyageurs attirés par le gain de temps réalisable (cette attraction étant plus forte pour le système magnétique).

Cette attraction fut évaluée en tenant compte de l'élasticité de la demande à des changements de temps de trajet. D'après des observations et des analyses de la demande de transport interurbain entre Montréal et Ottawa les valeurs suivantes semblent appropriées:

- une élasticité de -1 pour évaluer le trafic minimum;
  (une réduction de temps de trajet de 1% entraîne une augmentation de trafic de 1%).
- une élasticité de -2 pour évaluer le trafic maximum.

Après 1991, la croissance du trafic pour le nouveau système, quel qu'il soit, serait de 4,3% par an pendant dix ans, puis le taux de croissance diminuerait progressivement pendant les dix années suivantes, jusqu'à être nul en 2011.

Le trafic aéroportuaire a été évalué en se basant sur des observations de la distribution géographique des points de départ et d'arrivée des voyageurs aériens et de l'utilisation des divers modes d'accès à l'aéroport. Cette évaluation fut faite séparément pour Montréal et pour Ottawa et on a supposé une attraction plus grande au système magnétique. La figure 2-3 illustre l'évolution chronologique du trafic pour les deux systèmes.

3.

Le système ferroviaire

3. LE SYSTEME FERROVIAIRE

Ce chapitre présente les principaux paramètres techniques et financiers du système ferroviaire faisant ici l'objet d'une comparaison avec un système magnétique; les principaux aspects du système y sont analysés, depuis les principes de conception jusqu'à l'estimation des investissements et des coûts annuels.

3.1 Principes de définition et d'estimation

Le système ferroviaire envisagé ici offrirait un service rapide entre les centres-villes de Montréal et d'Ottawa via Mirabel. Toutes les rames feraient deux arrêts intermédiaires obligatoires: un à l'aérogare de Mirabel et l'autre à une station de banlieue située près de l'intersection de l'Autoroute 13 et de la subdivision Montfort du CN.

Le service ferroviaire serait exploité 365 jours/an, 18 h/jour. La fréquence serait d'une rame à l'heure en moyenne. La capacité du système serait adaptée progressivement à la croissance du trafic de façon à maintenir un coefficient de charge acceptable; cette adaptation serait faite par l'ajout de voitures additionnelles à chaque rame et non par l'augmentation de la fréquence.

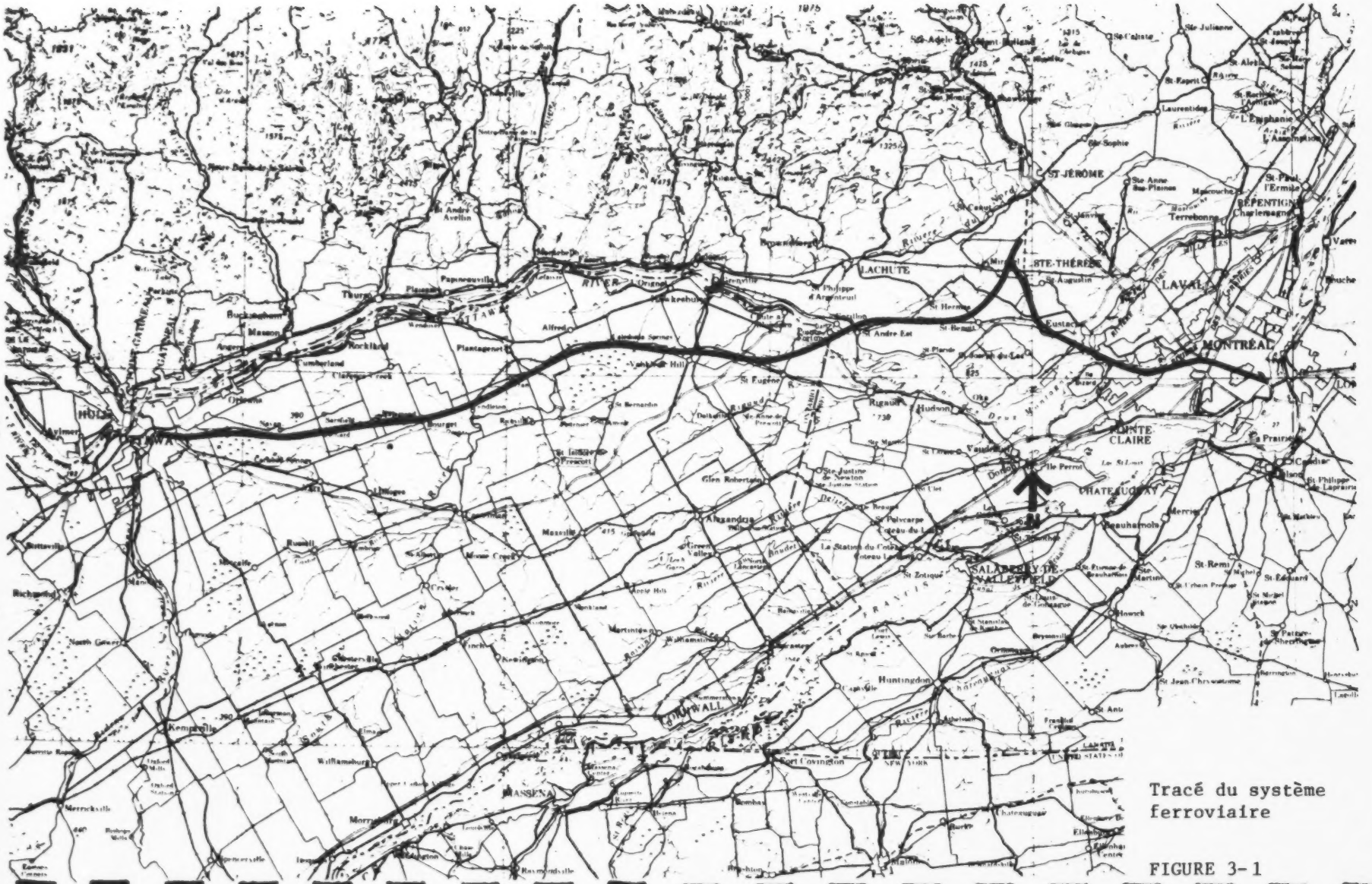
La méthode utilisée pour l'estimation des coûts suppose que le système serait étudié et construit au Canada. L'estimation a été faite à partir d'une conception préliminaire élaborée dans la présente étude et en utilisant, aussi souvent que possible, des coûts unitaires et des taux de productivité observés.

3.2 Description du tracé

Le tracé, illustré en plan à la figure 3-1, commence à la Gare Centrale puis suit la subdivision Mont-Royal du CN sous la montagne du même nom: dans le tunnel, les deux voies actuelles seront reconstruites et partagées par les services de banlieue et le système envisagé.

A la sortie du tunnel, une voie double exclusive sera implantée du côté ouest de l'emprise pour le service grande vitesse envisagé et une voie double exclusive pour les services de banlieue du côté est. Au besoin, des voies de desserte industrielle seront reconstruites de part et d'autre de ces quatre voies.

Le tracé projeté emprunte l'emprise du CN jusqu'à Deux-Montagnes. Presque tous les ponts et viaducs seront reconstruits pour supporter cinq ou six voies.



Tracé du système ferroviaire

FIGURE 3-1

Au nord de la rivière des Mille Iles, le tracé est encore implanté dans l'emprise du CN, sauf sur 3,5 km. A 45 km du point de départ, le tracé pénètre sur le territoire de l'aéroport sur une nouvelle emprise et emprunte un tunnel de 1880 m de longueur qui passe entre les pistes principales et sous une piste et des voies de services. La station Mirabel sera située sous l'aérogare, qui a été conçue en fonction d'une telle éventualité. Après l'arrêt, les rames repartiront dans la direction opposée, en longeant à nouveau le tracé emprunté pour accéder à l'aérogare durant 5 km, puis bifurqueront vers Ottawa: à ce point, les rames auront parcouru 55 km depuis la Gare Centrale.

La ligne se dirige alors vers la rivière des Outaouais en empruntant un nouveau tracé conçu pour les grandes vitesses. La traversée de la rivière se fait près de Pointe Fortune et, 13 km plus loin, la nouvelle ligne rejoint la subdivision M.&O. du CP, près de son intersection avec l'autoroute 417, aux environs de Vankleek Hill, en Ontario.

De là jusqu'à Ottawa, le tracé du nouveau système coincide généralement avec celui de l'emprise du CP, sauf sur une longueur de 12,5 km près de Plantagenet, où le maintien de vitesses élevées requiert un redressement. La nouvelle voie double exclusive est construite du côté sud de l'emprise du CP, sauf pour les derniers 35 km avant d'arriver à Ottawa, où elle est construite du côté nord pour éviter de nombreuses voies d'évitement du côté sud.

De la Gare Centrale à la gare d'Ottawa, le tracé compte 185 km. Compte tenu du rebroussement à Mirabel, les rames parcourent effectivement 190 km par trajet.

3.3 Capacité de la ligne et taille du parc

La croissance prévue du trafic et l'adaptation progressive de la capacité de la ligne au trafic sont illustrées à la figure 3-2.

Compte tenu d'un temps total de trajet de 70 min, arrêts intermédiaires pris en considération, et d'un temps de retournement aux terminus estimé à 40 min, il faudra maintenir six rames en service pour offrir le service envisagé.

De plus, une rame sera maintenue en réserve d'exploitation à chaque terminus; une neuvième rame est nécessaire pour assurer la réserve requise pour l'entretien. Au total donc, le parc du système ferroviaire comptera 9 rames de 4 voitures en 1991; en 1999, une cinquième voiture sera ajoutée à chaque rame.

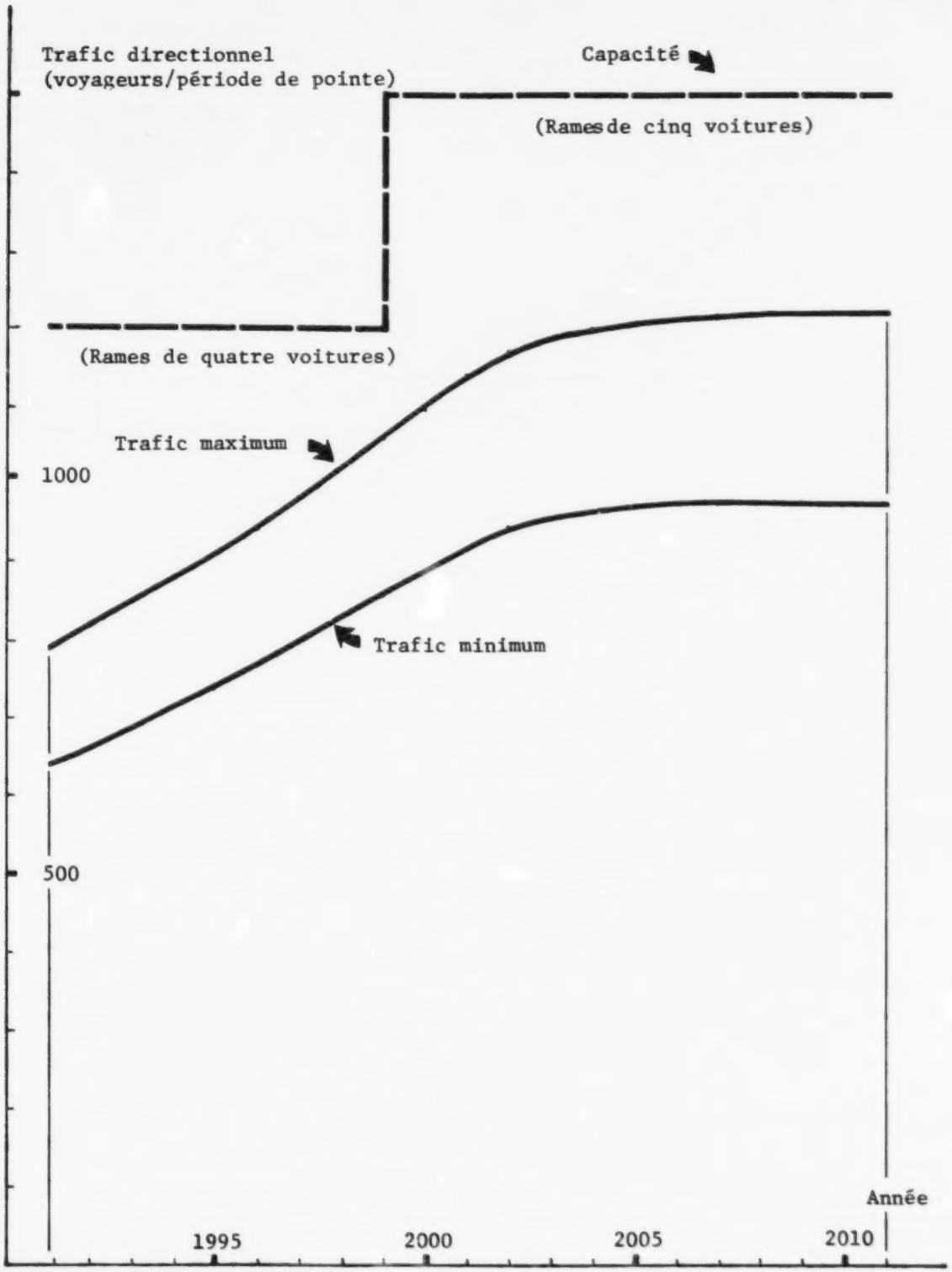


Figure 3-2 Evolution du trafic et de la capacité du système ferroviaire

3.4 Le véhicule

Le véhicule ferroviaire envisagé est une rame électrique autonome de 4 voitures; cette rame réversible ne serait pas scindée en exploitation normale.

Utilisant du courant électrique monophasé à 25 kV distribué par caténaire, la rame est motorisée pour pouvoir maintenir une vitesse d'exploitation maximale de 200 km/h. Ses performances en accélération et en freinage lui permettent de réaliser un temps de parcours de 70 min sur le tracé proposé.

Chaque voiture, longue de 25 000 mm et large de 3 200, compte 75 sièges, disposés par rangées de deux de chaque côté d'un couloir central. Le diagramme de toutes les voitures sera le même: des snacks et rafraîchissements seront servis à la place comme dans un avion.

Plusieurs matériels ferroviaires offrent déjà des performances comparables, mais aucun d'eux n'est adapté aux conditions canadiennes. Pour 1991, les manufacturiers canadiens pourraient adapter l'un de ces matériels ou développer eux-mêmes un matériel de conception canadienne, à partir du train LRC, par exemple.

Le coût d'une voiture est estimé à $2,5 millions (dollars 1983), compte tenu de la taille du parc (36 voitures). Il faut aussi prévoir des pièces de rechange (5%), pour un investissement total de $94,5 millions pour l'inauguration du service en 1991.

3.5 Emprise et schéma de voie

Comme on peut le voir au tableau 3-1, le système ferroviaire empruntera des emprises ferroviaires existantes sur une distance de 127 km et une emprise nouvelle sur une distance de 58 km.

En cas d'insertion dans une emprise existante le site nécessaire au système (15 m de largeur en bordure de l'emprise actuelle) sera obtenu des Chemins de fer au moyen d'une location à long terme (cela se pratique déjà ailleurs au Canada). En cas d'acquisition d'une nouvelle emprise, la largeur de celle-ci sera normalement de 30 m et, exceptionnellement, de 15 ou 50 m. Les acquisitions de terrains, principalement en milieu rural, se chiffreront à 220 ha, au prix de $2,5 millions. Les locations, elles, s'élèveront à $2,8 millions par an.

La disposition des voies est schématisée à la figure 3-3.

Tableau 3-1

Requis d'emprise pour le système ferroviaire

Méthode d'obtention projetée	Classification future	Contexte	Requis total		
			Largeur (m)	Longueur (km)	Aire (ha)
Location d'emprises ferroviaires	Selon le milieu	Urbain	15	41,06	61,59
		Rural	15	86,00	129,00
		Tous	-	127,06	190,59
	Selon l'appartenance	au CN	15	46,16	69,24
		au CP	15	80,90	121,35
		Total	-	127,06	190,59
Acquisition de terrains en propriété privée	Selon le milieu et la largeur	Urbain	15	0,50	0,25
		Rural	15	6,00	9,00
		Rural	30	37,90	113,70
		Rural	50+	14,28	96,88
		Total	-	58,68	219,83
	Selon l'utilisation du sol actuelle	Boisé	Variable	13,30	53,20
		Ferme/non utilisé	Variable	45,38	166,63
		Total	-	58,68	219,83
Toutes	Quelconque	Quelconque	-	185,75	410,42

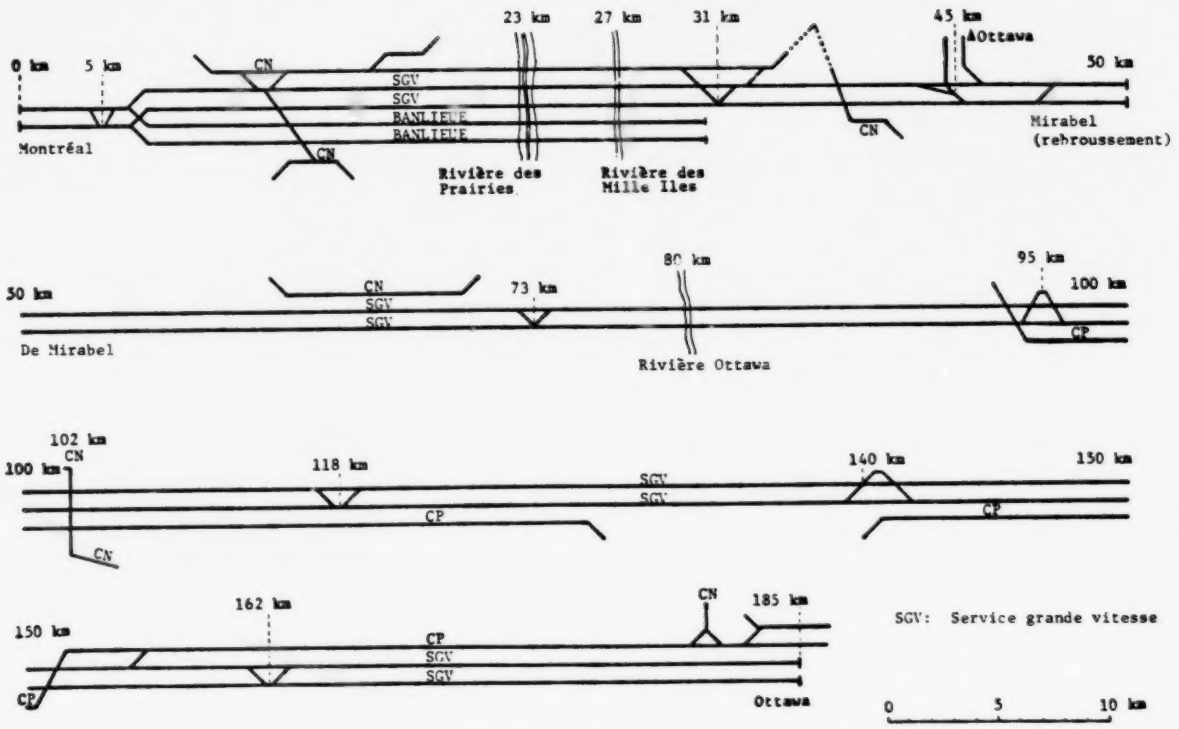
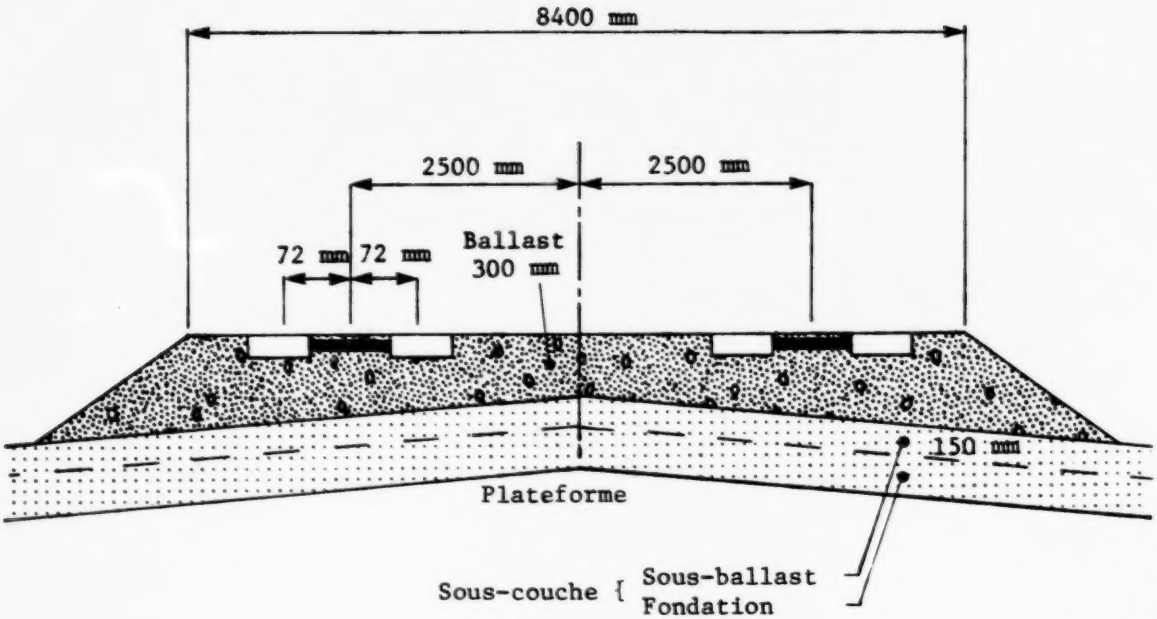


Figure 3-3 Schéma de voie pour le système ferroviaire



Epaisseur de la sous-couche:

- bonne plateforme : 350 mm
- plateforme médiocre: 600 mm ou plus

Figure 3-4 Concepts de structure de voie

3.6 Infrastructure

Le concept de structure de voie envisagé, illustré à la figure 3-4, s'inspire de ce qui se fait pour des services voyageurs à grande vitesse exploités sur voie exclusive.

La structure de voie sera posée sur une plateforme de 30 cm d'épaisseur obtenue par compaction à 95% du sol en place; celui-ci sera remplacé s'il est impropre à cette fonction. Suivant la qualité de la plateforme, celle-ci pourra être recouverte d'une couche de 20 à 45 cm de matériaux granulaires. On posera ensuite 15 cm de sous-ballast et 30 cm de ballast.

La voie ferrée, faite de rail soudé en continu de 60 kg/m, sera posée sur des traverses de béton précontraint de conception monobloc espacées de 60 cm. Le rail sera fixé aux traverses au moyen de fixations élastiques isolantes munies de cales d'ajustement.

Le système requiert 398,9 km de voie simple équivalente: 185 km de voie double exclusive et 28,9 de voie marchandises à relocaliser ou reconstruire. En ajoutant 5% pour les voies de garage et les voies d'évitement, la longueur totale sera de 418,8 km.

Les quantités, les coûts unitaires et les coûts totaux des différents éléments de l'infrastructure sont indiqués au tableau 3-2.

3.7 Ponts et viaducs

Trois types de structures sont requis pour le système ferroviaire: des viaducs d'étagement, quelques structures particulières et des ponts et ponceaux.

Les viaducs d'étagement servent à déniveler les intersections rail-route. En milieu urbain, la dénivellation habituelle consiste à surbaisser la rue pour passer sous un viaduc-rail en béton armé En banlieue ou en milieu rural, la route sera plutôt surélevée pour franchir la voie ferrée. Le coût de ces structures varie avec leur taille (nombre de voies ferrées et de pistes routières), avec les conditions du sous-sol et le type de fondation (pieux ou empattement) et selon que l'on doit ou non remplacer une structure existante.

Trois structures particulières furent étudiées individuellement: un étagement rail-route complexe avec murs de soutènement à Ville Mont-Royal, un étagement entre deux voies ferrées à la Jonction de l'est et un tunnel sous une piste de service à Mirabel.

Quant aux ponts, trois structures-types ont été envisagées pour des portées de 10, 40 et 100 m: pour une portée de 10m, un tablier en béton armé solidaire de profilés en acier; pour une portée de 40 m, un tablier en béton armé solidaire de poutres en acier faites de plaques soudées; pour une portée de 100 m, un treillis métallique sur appuis simples, sans tablier, les traverses étant posées directement sur la structure.

Tableau 3-2

Investissements en infrastructure ferroviaire

Poste	Quantité (Unité spécifiée)	Cout unitaire (selon l'unité)	Coût total (Can $/1983)
OBTENTION DU SITE			
Milieu urbain	239,00 ha	$ 2 000 / ha	$ 0,5 M
Milieur rural	0,25 ha	$ 53 800 / ha	$ 0,0 M
Expropriation d'édifices	21 u.	$ 100 000 ea.	$ 2,1 M
Sous-total			$ 2,6 M
COMPOSANTES DE LA VOIE (livrées)			
Rail	418 845 m	$ 102 / m	$ 42,7 M
	(50 260 t)	($ 625 / t)	
Traverses	718 000 u.	$ 40 ea.	$ 28,7 M
Fixations	418 845 m	$ 33 / m	$ 13,8 M
Sous-total			$ 85,2 M
PREPARATION DU SITE			
Déboisement	65,6 ha	$ 4 485 / ha	$ 0,3 M
Excavation dans le roc	0,04 Mm^3	$ 30 / m^3	$ 1,2 M
Deblai, terre végétale	1,09 Mm^3	$ 2 / m^3	$ 2,2 M
Deblai, mort-terrain	4,85 Mm^3	$ 2 / m^3	$ 9,7 M
Remblai en place	4,43 Mm^3	$ 7 / m^3	$ 31,0 M
Contingences (20%)			$ 8,9 M
Sous-total			$ 53,3 M
MATERIAUX POUR LA VOIE (en place)			
Fondation	1,14 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 17,1 M
Sous-ballast	2,70 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 40,5 M
Ballast	0,81 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 12,1 M
Contingences (20%)			$ 13,9 M
Sous-total			$ 83,6 M
CONSTRUCTION DE LA VOIE			
Pose de la voie	418 845 m	$ 30 / m	$ 12,6 M
Clôture	370 000 m	$ 42 / m	$ 15,5 M
Sous-total			$ 28,1 M
AIGUILLAGES			
Automatique, grande vitesse	32 u.	$ 300 000 ch.	$ 9,6 M
Automatique, basse vitesse	40 u.	$ 70 000 ch.	$ 2,8 M
Manuel (#4)	17 u.	$ 48 000 ch.	$ 0,8 M
Croisements de voies	19 u.	$ 60 000 ch.	$ 1,1 M
Sous-total			$ 14,3 M
TOTAL (Can $ M, 1983)			$ 267,1 M

Tableau 3-3

Investissements en structures ferroviaires

Poste		Quantité (Unité spécifiée)	Coût unitaire (selon l'unité)	Coût total (Can$M, 1983)
DENIVELLATIONS				
Rue sous rail	- nouveau	10 u.	$ 470 000 ch.	$ 4,7 M
	- Reconstruction	5 u.	$1 080 000 ch.	$ 5,4 M
Route sur rail	- nouveau	26 u.	$ 188 000 ch.	$ 4,9 M
	- Reconstruction	5 u.	$ 356 000 ch.	$ 1,8 M
Chemin sur rail	- nouveau	14 u.	$ 143 000 ch.	$ 2,0 M
Reconstruction de	- foundation	0,60 Mm^3	$ 15 / m^3	$ 9,2 M
voirie	- Asphalt	0,17 Mt	$ 30 / t	$ 5,1 M
Contingences (20%)				$ 6,6 M
	Sous-total			$ 39,7 M
STRUCTURES PARTICULIERES				
Ville Mont-Royal		1 u.	Global	$ 1,3 M
Jonction de l'est		1 u.	Global	$ 1,5 M
Tunnel à Mirabel		1 u.	Global	$ 34,4 M
Contingences (20%)				$ 7,4 M
	Sous-total			$ 44,6 M
PONTS ET PONCEAUX				
Portée de 10 m (2)		9 u.	$ 250 000 ch.	$ 2,3 M
Portée de 40 m (2)		1 u.	Global	$ 2,0 M
Portée de 100 m (1)		2 u.	$ 1,85 M	$ 3,7 M
Rivière-des-Prairies		1 u.	Global	$ 14,9 M
Rivière-des-Mille-Iles		1 u.	Global	$ 14,9 M
Rivière des outaouais		1 u.	Global	$ 22,4 M
Ponceaux (1 m Ø)		1 000 m	$ 120 / m	$ 0,1 M
Ponceaux (2 m Ø)		100 m	$ 600 / m	$ 0,1 M
Contingences (20%)				$ 12,1 M
	Sous-total			$ 72,5 M
INVESTISSEMENT TOTAL (CDN $ M, 1983)				$ 156,8 M

Une étude préliminaire fut effectuée pour trois traversées plus longues: celles des rivières des Prairies, des Mille Iles et des Outaouais. La solution de principe retenue fut celle de successions de treillis métalliques de 100 m, cette solution est satisfaisante pour fins d'estimation, dans la réalité, on optimiserait la structure. Chacun de ces trois ponts fut dimensionné selon le principe adopté.

Pour toutes les structures, les coûts unitaires utilisés sont ceux de structures semblables récemment construites. L'estimation des quantités et des coûts des structures est présentée au tableau 3-3.

3.8 Stations

Le terminus montréalais du système serait à la Gare Centrale: le système utiliserait les quais actuels, modifés légèrement. Un nouvel édifice serait construit à la station de banlieue, dont les quais seraient élevés. La station Mirabel serait construite au rez-de-chaussée de l'aérogare, où une telle implantation a été prévue. A Ottawa, le terminus serait situé à la gare actuelle de VIA; on construirait des quais élevés. Le coût de construction des stations a été estimé à $3,1 millions.

3.9 Equipements de traction et de contrôle

Ces équipements utiliseront une technologie moderne mais éprouvée. Trois postes de livraison suffiront à pourvoir l'énergie de traction nécessaire pour le service envisagé; à cause des faibles pertes de courant en 25 kV, on n'a pas à prévoir de sous-stations intermédiaires.

Une caténaire conventionnelle serait utilisée pour la distribution du courant: fil porteur en cuivre laminé 4/0 EK, fil de contact en cuivre à section de 150 mm^2, suspension en Y avec ajustement automatique du contrepoids à une flèche maximum de 25 cm. Dans le tunnel, la caténaire sera fixée à la paroi rocheuse; entre les points kilométriques 5,4 et 31, elle sera portée par des portiques en acier enjambant l'emprise, qui compte 4, 5 et, à l'occasion, 6 voies. Par la suite (sauf en tunnel à Mirabel) une suspension souple sera utilisée, avec des supports simples ou doubles à tous les 60 m en général.

Les automatismes utiliseront des principes classiques (cantons fixes) et une technologie de pointe (électronique). L'anticollision automatique et l'anti-survitesse automatique (par application automatique du freinage) seraient réalisées par circuits de voie codés. Les aiguillages seraient télécommandés depuis le PCC et enclenchés aux circuits de voie pour assurer la protection automatique des itinéraires en sécurité intrinsèque. L'exploitation complète serait surveillée depuis le PCC.

Le prix des équipements fixes de traction et de contrôle est donné aux tableaux 3-4 et 3-5.

Parmi les équipements complémentaires, on note les appareils de télécommunication, un atelier auquel seraient intégrés le PCC et les bureaux, et les équipements fixes et mobiles pour l'entretien du système, au coût total de $13,5 millions.

Tableau 3-4

Investissements en alimentation et distribution électriques pour le système ferroviaire

Poste	Quantité (Unité spécifiée)	Coût unitaire (selon l'unité)	Coût total (Can $ M, 1983)
SOUS-STATIONS (3)			
Transformateurs (6/8/10 MVA)	3 u.	$ 180 000 ch.	$ 0,54 M
Edifices, protections, contrôles	3 u.	$ 250 000 ch.	$ 0,75 M
Coupe-circuits (25 kV)	15 u.	$ 16 000 ch.	$ 0,24 M
Coupe-circuits HT -120 kV	1 u.	$ 160 000 ch.	$ 0,16 M
-230 kV	1 u.	$ 250 000 ch.	$ 0,25 M
-315 kV	1 u.	$ 350 000 ch.	$ 0,35 M
Contingences (20%)			$ 0,46 M
Sous-total			$ 2,75 M
COUPE-PHASES (2)			
Coupe-circuits (25 kV)	10 u.	$ 16 000 ch.	$ 0,16 M
Edifices, protection, contrôle	2 u.	$ 100 000 ch.	$ 0,20 M
Contingences (20%)			$ 0,07 M
Sous-total			$ 0,43 M
TERMINAUX (2)			
Coupe-circuits (25 kV)	2 u.	$ 16 000 ch.	$ 0,03 M
Edifices, protections, contrôles	2 u.	$ 50 000 ch.	$ 0,10 M
Contingences (20%)			$ 0,03 M
Sous-total			$ 0,16 M
CATENAIRE			
Sous-total	194,2 d.km	$200 000/d.km	$ 38,90 M
TOTAL (Can $M, 1983)			$ 42,20 M

Tableau 3-5

Investissements en signalisation pour le système ferroviaire

Poste	Quantité (Unité spécifiée)	Coût unitaire (selon l'unité)	Coût total (Can $ M, 1983)
MATERIEL DE VOIE			
Enclenchements ordinaires	9 u.	$ 1,8 M ch.	$ 16,3 M
Enclenchements particuliers	4 u.	$ 2,5 M ch.	$ 10,1 M
Verrouillages électriques	10 u.	$ 40 000 ch.	$ 0,4 M
Circuits de voie	175 u.	$ 44 000 ch.	$ 7,7 M
Détecteur de surchauffage d'essieux	10 u.	$ 37 800 ch.	$ 0,4 M
Contingences (5%)			$ 1,7 M
Sous-total			$ 36,6 M
MATERIEL CENTRALISE			
Poste central de commande	Global	-	$ 4,5 M
Sous-total			$ 4,5 M
MATERIEL EMBARQUE			
Compris dans le coût des véhicules		-	$ 0,0 M
Sous-total			$ 0,0 M
TOTAL (Can $M, 1983).....			$ 41,1 M

3.10 Opération et entretien

Une analyse détaillée des procédures et du personnel de l'opération et de l'entretien du système a été réalisée pour obtenir une estimation réaliste des coûts afférents.

Pour l'opération, la nature des fonctions à pourvoir fut déterminée, ainsi que le nombre de postes et la taille des effectifs. Les salaires furent déduits de ceux qui sont en vigueur chez VIA Rail. Les résultats sont présentés au tableau 3-6.

Les coûts d'entretien du matériel roulant furent évalués par comparaison avec les coûts d'entretien observés pour des matériels analogues en exploitation à l'étranger, en tenant compte des résultats d'une étude récente visant à adapter ces coûts aux conditions canadiennes. Les coûts d'entretien de la voie et des structures sont bien connus. Les résultats sont présentés au tableau 3-7.

Les coûts énergétiques s'élèveront à $1,5 M/an en 1991 et augmenteront de 25% en 1999 lors de l'addition d'une cinquième voiture aux rames.

Tableau 3-6

Coûts d'opération du système ferroviaire en 1991

Poste	Effectifs	Salaires directs ($M)	Salaires indirects ($M)	Total ($M)
Agent de conduite	42	2,35	0,42	2,77
Chef de train	25	1,30	0,23	1,53
Agent de bord	100	2,60	0,47	3,07
Coûts salariaux de conduite des rames				7,37
Coûts des fournitures (10%)				0,74
Coût total de conduite des rames				8,11
Directeur de station	4	0,22	0,16	0,38
Chef de station	16	0,83	-	0,83
Sous-chef de station	16	0,64	-	0,64
Personnel de station	110	3,41	-	3,41
Coûts salariaux d'opération des stations				5,26
Coûts des fournitures ($0.80 par passager)				1,03
Coût total d'opération des stations				6,29
Agent de réservation	26	0,81	0,15	0,96
Coûts salariaux du personnel de réservation				0,96
Coûts des fournitures: compris dans celui de l'opération des stations-				
Coût total de réservation				0,96
Directeur des opérations	1	0,05	0,05	0,10
Chef de terminus	15	0,65	-	0,65
Répartiteur	5	0,18	-	0,18
Opérateur	15	0,46	-	0,46
Total				1,39
COUT DIRECT D'OPERATION				16,75
FRAIS GENERAUX ET ADMINISTRATION (8%)				1,34
COUT TOTAL D'OPERATION (Can $M/an, 1983)				18,09

Tableau 3-7

Coût d'entretien du système ferroviaire en 1991

SOUS-SYSTEME Composante	Vie utile (années)	Coefficient d'entretien (%)	Coût de construction ($M)	Coût annuel d'entretien ($M/an)
VEHICULES				
Sous-total	20	6,6	94,5	6,22
INFRASTRUCTURE				
Plateforme	100	0,0	53,3	0,00
Fondation	50	0,2	69,1	0,15
Ballast	25	8,3	14,5	1,20
Voie ferrée	40	0,4	97,8	0,43
Clôture	20	1,3	15,5	0,20
Aiguillages haute vitesse	20	2,8	10,7	0,30
Autres aiguillaes	40	1,4	3,6	0,05
Sous-total	-	(0,9)	64,5	2,33
STRUCTURES				
Dénivellations	50	0,2	39,7	0,09
Structures particulières	50	0,2	44,6	0,10
Ponts et ponceaux	50	0,2	72,5	0,15
Sous-total	-	(0,2)	156,8	0,34
TRACTION ET CONTROLE				
Alimentation/distribution	40	1,8	42,2	0,78
Signalisation	40	1,0	41,1	0,41
Communications	20	0,0	3,5	0,06
Sous-total	-	(1,4)	87,8	1,15
EQUIPEMENTS				
Sous-total	40	14,5	13,1	1,90
ADMINISTRATION (8%)	-	-	-	0,96
TOTAL (Can $M, 1983)	-	2,1	616,7	13,00

4.

Le système magnétique

4. LE SYSTEME MAGNETIQUE

Ce chapitre présente les principaux paramètres techniques et financiers du système à lévitation magnétique faisant ici l'objet d'une comparaison avec un système ferroviaire; les principaux aspects du système y sont analysés, depuis les principes de conception jusqu'à l'estimation des investissements et des coûts annuels.

4.1 Principes de définition et d'estimation

Le système à lévitation magnétique envisagé ici offrirait un service rapide entre les centres-villes de Montréal et d'Ottawa via Mirabel. Toutes les rames feraient deux arrêts intermédiaires obligatoires: un à l'aérogare de Mirabel et l'autre à une station de banlieue près de l'intersection de la subdivision Montfort du CN et de l'Autoroute 13.

Le service serait exploité 365 jours/an, 18h/jour. La fréquence de service serait d'une rame à l'heure en moyenne. La capacité du système serait adaptée progressivement à la croissance du trafic de façon à maintenir un coefficient de charge acceptable; cette adaptation se ferait par l'ajout de sections additionnelles à chaque rame et non par l'augmentation de la fréquence.

La méthode utilisée pour l'estimation des coûts suppose que, en autant que c'est faisable, le système serait étudié et construit au Canada. L'estimation est faite à partir d'une conception préliminaire élaborée dans la présente étude.

En général, l'estimation des coûts est basée sur les méthodes de travail, les salaires et les taux de productivité en vigueur au Canada et se fonde sur des coûts unitaires observés. Cependant, dans le cas du véhicule et des équipements montés sur la piste de guidage (rails et aimants de lévitation et de guidage, stator et câblage de distribution électrique, signalisation) l'estimation a été entièrement préparée par TransRapid International.

Sauf indication contraire, les coûts sont donnés en dollars canadiens 1983. Les estimation préparées en DM ont été converties au taux de 2,15 DM/$CDN, le taux en vigueur en septembre 1983.

4.2 Description du tracé

Le tracé, illustré en plan à la figure 4-1, commence à la gare Windsor puis longe la subdivision Vaudreuil du CP vers Dorval à travers les villes de Westmount, Montréal-Ouest, Saint-Pierre, Lachine et Dorval, soit une distance totale de 17,5 km environ. Dans cette première partie du tracé, la structure de guidage est construite à 9 m au-dessus de l'emprise ferroviaire, ce qui permet de passer au-dessus des structures de signalisation. Près de la gare Windsor, la voie magnétique grimpe même à 15 m au-dessus des voies ferrées pour éviter une bretelle d'autoroute.

A Dorval, le tracé vire brusquement vers la droite et traverse un petit parc de quartier; cette partie du tracé requiert la relocalisation de quatre maisons unifamiliales et la démolition de deux édifices de vingt appartements chacun, de même que celle d'une petite école primaire. Dans ce secteur, la structure de guidage descend au niveau du sol pour réduire l'intrusion visuelle et aussi pour satisfaire les gabarits d'obstacles au bout des pistes 06L et 10 de l'aéroport de Dorval.

Le tracé tourne à nouveau à droite et remonte au-dessus d'une emprise ferroviaire (l'antenne Doney du CN) pour traverser le parc industriel du boulevard Hymus, puis tourne à gauche pour traverser l'Autoroute 40. La station de banlieue est construite sur viaduc, près de l'intersection de l'Autoroute 13 et de la subdivision Montfort du CN.

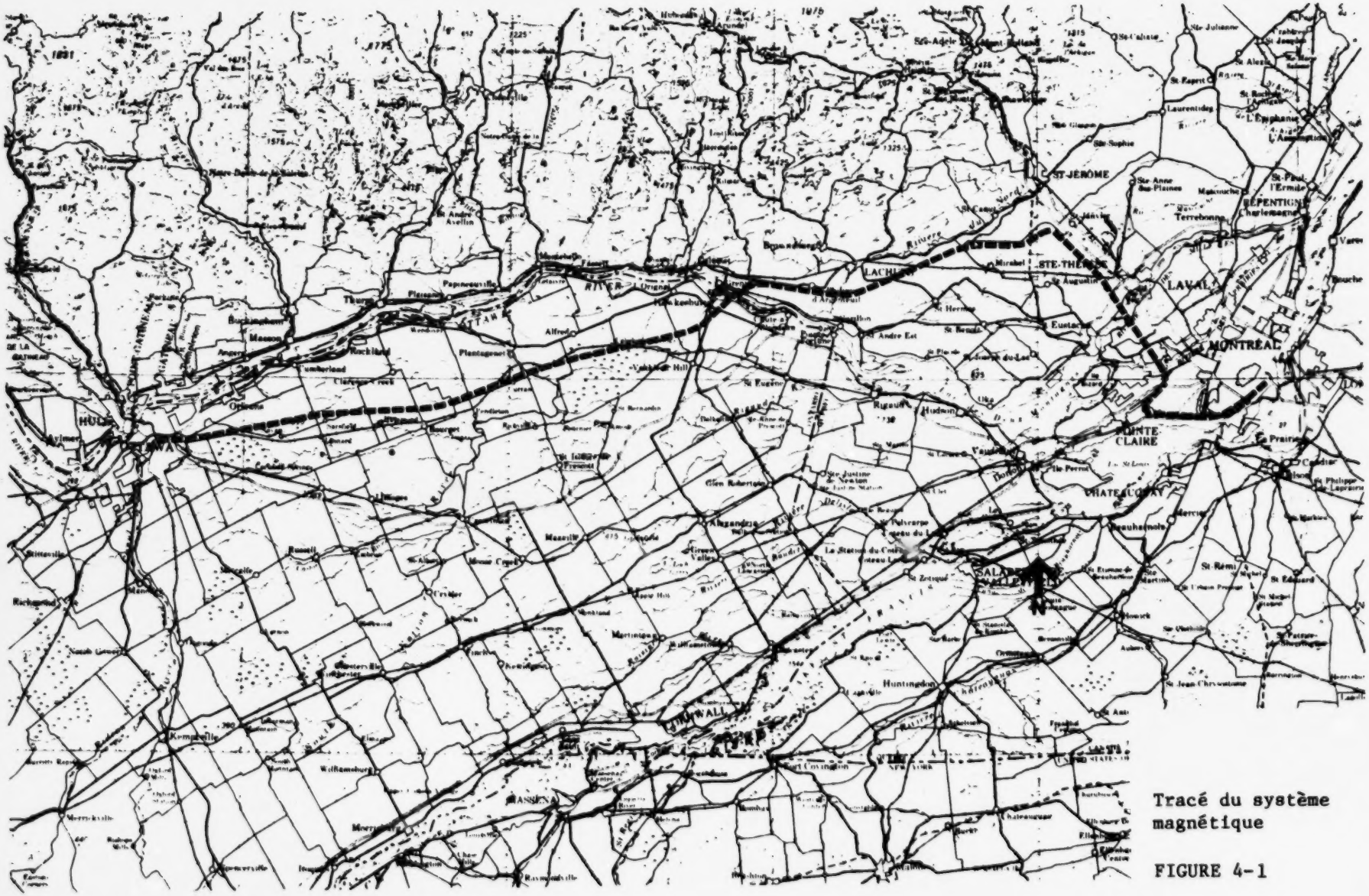
A partir de ce point, la piste est construite sur un viaduc fait d'une succession de poutres de 25 m de longueur, montées sur piliers de façon à laisser un dégagement de 5 m. La traversée de la rivière des Prairies se fera au moyen de portées plus longues.

A travers Laval, le tracé est parallèle à l'Autoroute 13. Comme il n'y a pas d'espace dans l'emprise de l'autoroute, la piste est construite environ 500 m à l'ouest, ce qui requiert peu de démolitions de résidences.

Après la traversée de la rivière des Mille Iles (encore au moyen de poutres plus longues que la longueur standard de 25 m), le tracé se dirige vers l'Autoroute 15, qu'il longe ensuite, 500 m à l'ouest, jusqu'à St-Janvier où le tracé vire vers Mirabel.

Près de l'aéroport, le niveau de la voie baisse progressivement pour pénétrer éventuellement dans l'édifice de l'aérogare. Le tracé quitte ensuite l'aérogare, puis la voie reprend rapidement sa configuration surélevée.

La piste du système magnétique est ensuite construite, en viaduc, le long d'un tracé qui fut choisi pour minimiser les difficultés de construction sur un sol de mauvaise qualité. La voie passe ainsi au sud de Lachute et de Saint-Philippe-d'Argenteuil pour traverser la rivière des Outaouais, un peu à l'est de Hawkesbury, au km 102 du tracé.



Tracé du système magnétique

FIGURE 4-1

Par la suite, le tracé se dirige vers Ottawa dans une orientation analogue à celle de la subdivision M.&O. du CP. D'ailleurs, du km 180 au bout du tracé au km 189+500, la structure de guidage est construite dans l'emprise ferroviaire même, au niveau du sol.

4.3 Capacité de la ligne et taille du parc

La croissance prévue du trafic et l'adaptation progressive de la capacité de la ligne au trafic sont illustrées à la figure 4-2.

Compte tenu d'un temps de trajet total de 45 min, arrêts intermédiaires pris en compte, et d'un temps de 40 min pour le retournement des rames aux terminus, il faudra maintenir quatre rames en service pour offrir le service proposé.

De plus, une rame sera maintenue en réserve d'exploitation et une sixième rame constituera la réserve nécessaire pour l'entretien des véhicules. Au total donc, le parc du système magnétique comptera six rames de trois sections en 1991; on ajoutera une section intermédiaire à chaque rame en 1993 et une autre encore en 1999.

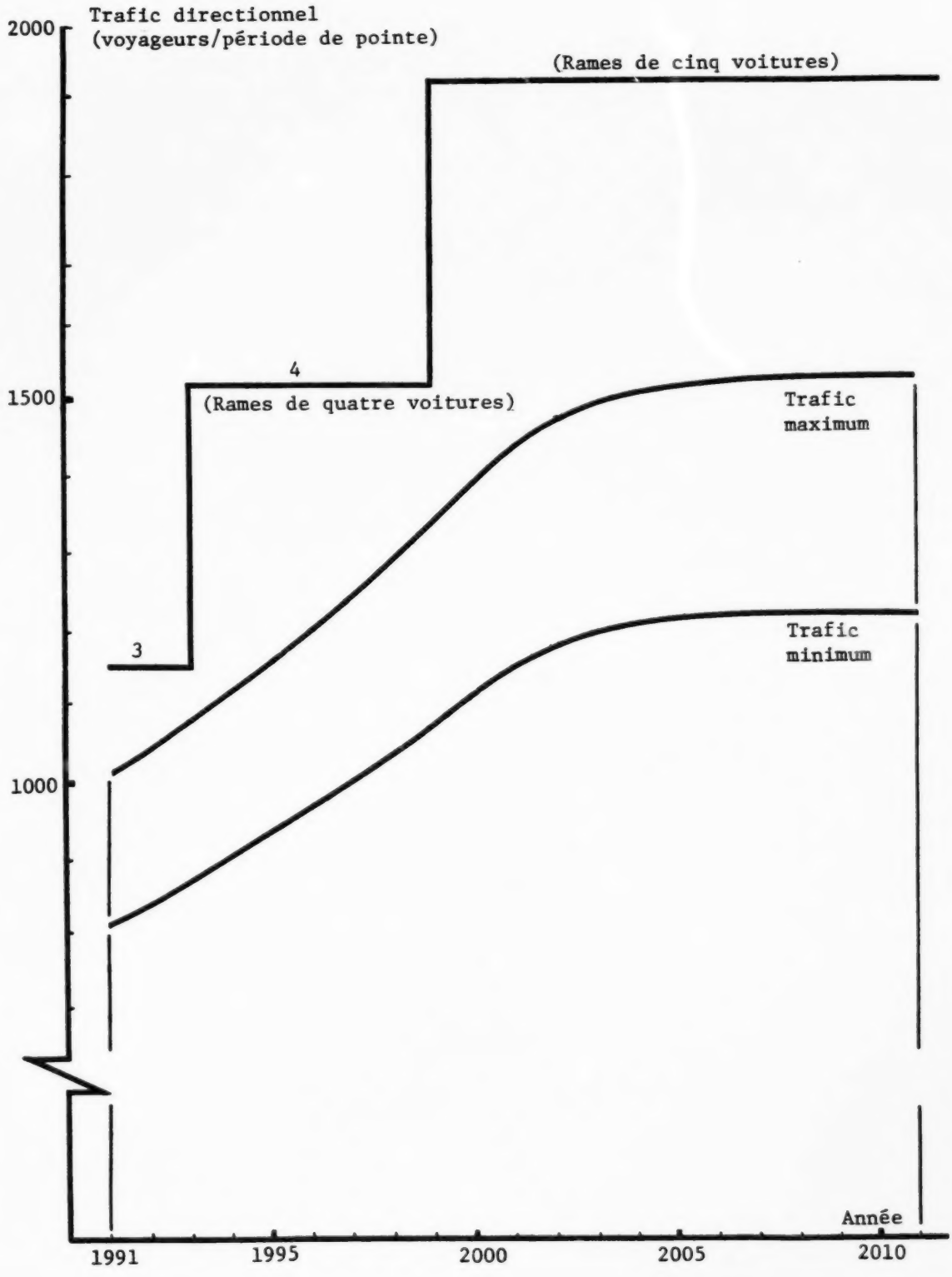


Figure 4-2 Evolution du trafic et de la capacité du système magnétique

4.4 Le véhicule

La configuration, les dimensions et la performance du véhicule à lévitation magnétique ont été décrits précédemment à la section 2.1 (aussi, figures 2-1 et 2-2).

L'élément se compose de deux sections extrêmes identiques et sa capacité totale est de 192 sièges disposés en rangées de cinq (trois sièges et deux de part et d'autre d'un couloir central). Chaque section compte quatre portes, deux de chaque côté. La loge de conduite, en bout de véhicule, est accessible depuis le compartiment voyageurs. Les sections intermédiaires que l'on ajoutera aux rames en 1993 et en 1999 sont identiques pour ce qui est des dimensions, de la capacité et de la disposition des sièges: elles ne diffèrent que par l'absence de loge de conduite et d'équipements embarqués d'automatisme.

La carosserie du véhicule est une structure monocoque faite de plaques sandwich (mousse de polymère entre deux feuilles d'aluminium) rivetées sur des traverses faites de profilés d'aluminium (figure 4-3). La carosserie est supportée sur quatre bogies par l'entremise d'une suspension secondaire pneumatique.

Chaque bogie comporte huit aimants de lévitation de 150 cm de longueur chacun; ces électro-aimants sont placés horizontalement le long de la voiture, en opposition au stator du moteur linéaire, qui est monté sous la poutre de guidage (figure 4-4). Sur chaque bogie sont aussi placés d'autres aimants servant au guidage du véhicule; ceux-ci sont placés verticalement le long du véhicule, en face des rails de guidage montés sur le bord de la poutre.

La force de traction résulte de l'attraction du véhicule par un champ magnétique mobile généré par le stator du moteur linéaire.

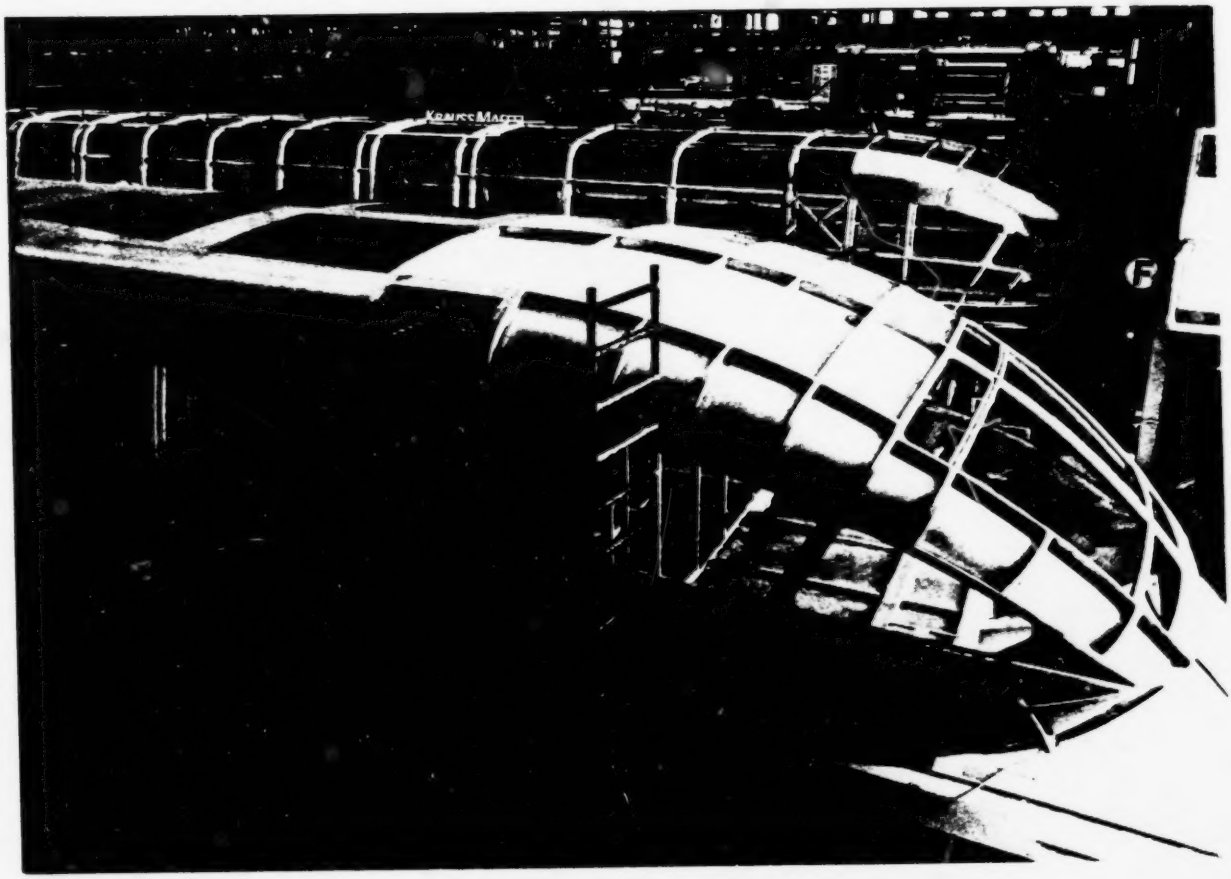


Figure 4-3 Structure de caisse du véhicule magnétique

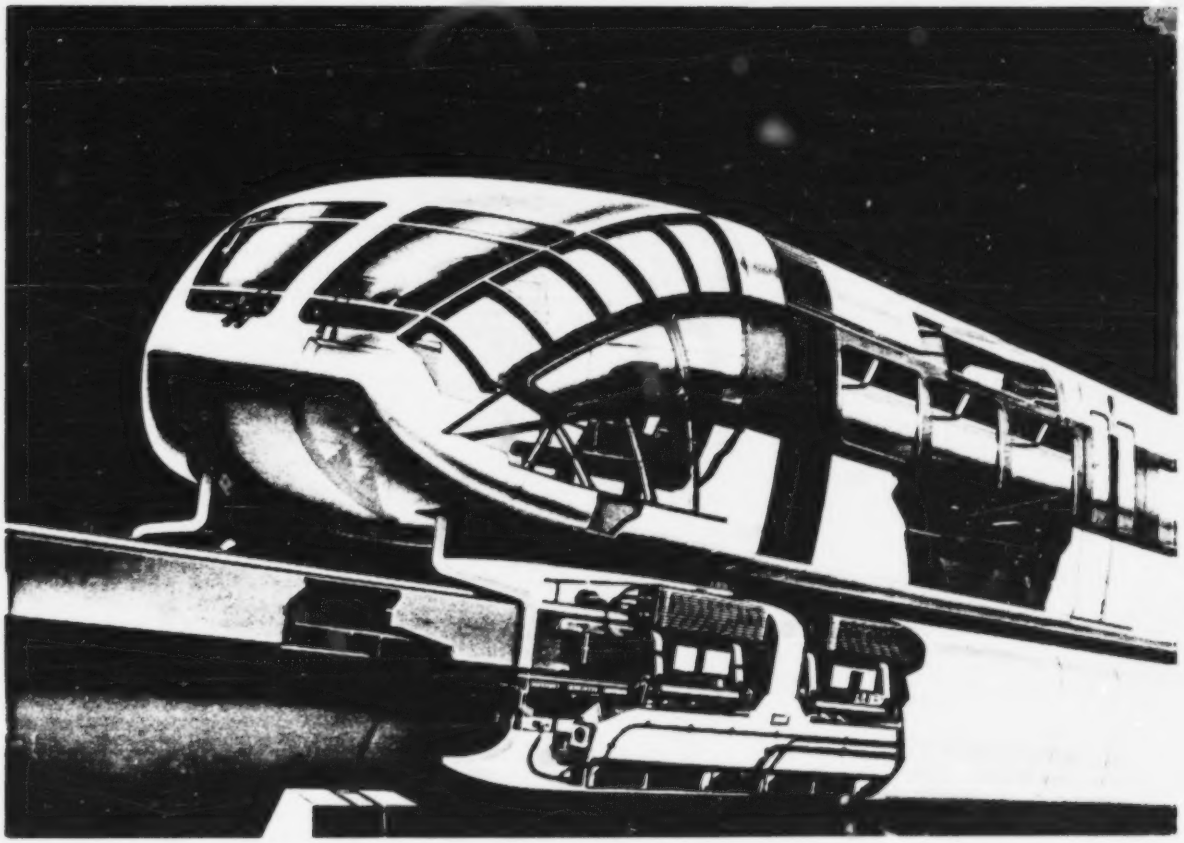


Figure 4-4 Equipements de lévitation, guidage et propulsion sur le véhicule magnétique

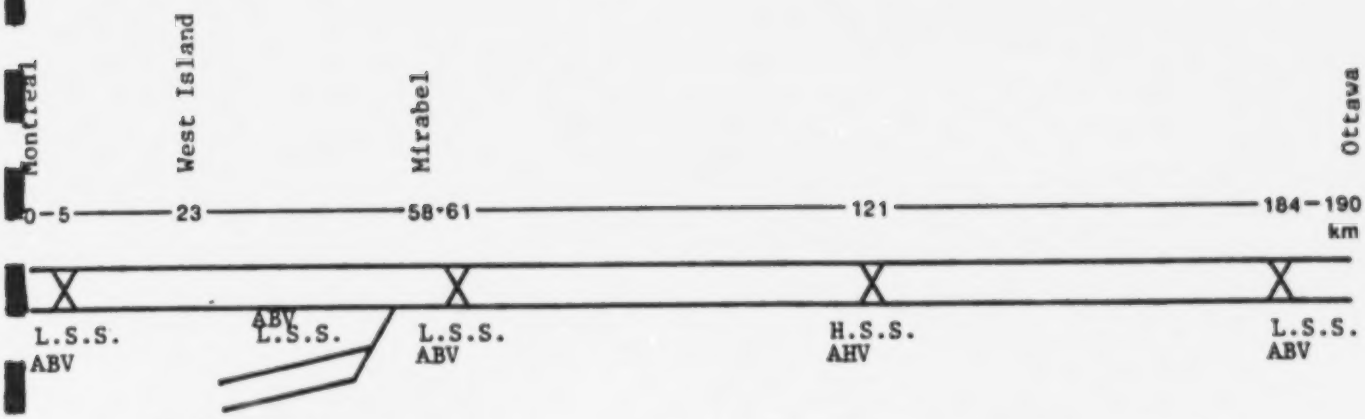
Le coût d'une rame de deux sections faisant partie d'un parc de 30 sections est estimé à $12,0 M; les sections intermédiaires faisant partie de cette commande coûteraient $5,7 M chacune; la différence provient de l'absence d'équipement de commande.

4.5 Emprise et schéma de voie

Comme on peut le voir au tableau 4-1, le tracé du système magnétique est implanté dans des emprises ferroviaires sur une distance de 27,6 km et dans une emprise nouvelle sur une distance de 161,9 km. Le schéma de la voie est illustré à la figure 4-5.

Lorsqu'implantée sur emprise ferroviaire, la voie magnétique sera construite en viaduc au-dessus des voies ferrées, avec un dégagement minimum de 8,5 m entre le dessus du rail et le dessous de la poutre de guidage. La largeur de l'emprise nouvelle sera de 15 m en milieu urbain et en banlieue et de 30 m en campagne, de façon à permettre le maintien d'une route d'accès pouvant servir à l'évacuation d'urgence et à l'entretien de la structure.

Le coût de l'acquisition de terrains pour fins d'emprise est estimé à $5,3 M, celui de la démolition (ou relocalisation) d'édifices à $7,0 M et celui de la location de droits aériens au-dessus des chemins de fer ou de parties d'emprises ferroviaires pour fins de site à $7,6 millions par an.



AHV: Aiguillage à haute vitesse
L.S.S.: Low Speed Switch
H.S.S.: High Speed Switch
ABV: Aiguillage à basse vitesse

Tableau 4-1

Requis d'emprise pour le système magnétique

Méthode d'obtention projetée	Classification future	Contexte	Requis total		
			Largeur (m)	Longueur (km)	Aire (ha)
Location de droits aériens au-dessus d'emprises ferroviaires	Selon le milieu	Urbain	15	23,6	35,4
		Rural	15	4,0	6,0
		Total	-	27,6	41,4
	Selon l'appartenance	au CN	15	2,1	3,15
		au CP	15	25,5	38,25
		Total	-	27,6	41,4
Acquisition de terrains en propriété privée	Selon le milieu et la largeur	Urbain	15	6,4	9,6
		Banlieue	15	16,0	24,0
		Fédéral(Mirabel)	30	25,0	75,0
		Rural	30	114,5	343,5
		Total	-	161,9	452,1
	Selon l'utilisation du sol actuelle	Boisé	Variable	48,5	140,8
		Ferme	Variable	113,4	236,3
		Fédéral	Variable	-	75,0
		Total	-	161,9	452,1
Toutes	Quelconque	Quelconque	-	189,5	493,5

Note: La largeur de l'emprise est de 30 m en milieu rural pour loger un chemin d'accès d'urgence qui n'est pas nécessaire en milieu urbain.

4.6 Infrastructure

Dans le cas d'un système ferroviaire, l'infrastructure est un sous-système majeur, qui comprend la voie ferrée, les traverses le ballast, le sous-ballast et la fondation de voie; l'infrastructure assure le guidage et le support des véhicules et, par une série de déformations élastiques, transmet à la plateforme les charges résultant de ces fonctions tout en amortissant les vibrations correspondantes.

Dans le système magnétique, les fonctions de guidage et de support sont réalisées au moyen de la structure de guidage, qui est dotée d'une rigidité suffisante pour maintenir les tolérances de position strictes qui caractérisent cette technologie.

Conséquemment, l'infrastructure dans le cas du système magnétique est un sous-système beaucoup moins important, ne regroupant que la préparation du site et la construction d'une route d'accès qui impliquent des investissements de $14,8 millions seulement.

4.7 Structures

Physiquement tout autant que financièrement, la structure de guidage est l'élément le plus important du système magnétique: elle consiste en quatre éléments, dont certains ne se trouvent que dans une configuration de viaduc:

- des poutres, qui supportent le véhicule et certains équipements: le stator, les rails de guidage et le système de signalisation; la voie du système est formée d'une succession ininterrompue de ces poutres,
- des appuis, présents aux bouts de chaque poutre, qui servent à effectuer les ajustements nécessaires pour rétablir la géométrie de la piste suite à des tassements importants de la fondation;
- des piliers ou colonnes, qui permettent d'établir le dégagement souhaité entre le dessous de la poutre de guidage et le terrain ou un obstacle à franchir; ils ne sont utilisés que pour une piste sur viaduc,
- des fondations, qui transmettent au sol les charges mortes et vives associées aux poutres de guidage et au passage des véhicules.

Etant donnée la technologie employée, le rôle de la poutre de guidage est équivalent à celui du ballast et du sous-ballast dans le système ferroviaire: la poutre supporte les rails de guidage comme le ballast supporte la voie et les traverses. Les poutres ont été développées en longueurs standard de 25, 36 et 72 m, des poutres de plus grande longueur pourraient être envisagées au besoin. Une poutre de 25 m est illustré à la figure 4-6.

Les poutres de guidage en béton précontraint seraient construites à l'usine, en utilisant des coffrages en acier spéciaux. Si l'on n'utilisait que des poutres de 25 m, elles pourraient toutes être fabriquées dans une seule usine et transportées sur le site. Si plusieurs poutres de 72 m étaient nécessaires, il serait préférable de

construire une(des) usine(s) près du(des) point(s) d'utilisation, pour réduire le transport. Le coût de fabrication et de mise en place d'une poutre de 25 m est estimé à $25000. Les poutres coûteront donc au total $1,0M/km pour une piste simple et $2,0M/km pour une piste double. Le coût des appuis est évalué à 4% de celui des poutres.

Au-delà d'un certain nombre de structures de dénivellation des routes et voies ferrées transversales, dans un milieu urbain de densité moyenne, la solution la plus économique est de construire la structure de guidage avec un dégagement de 5 m, ce qui élimine les étagements. C'est pourquoi un tel viaduc de guidage a été adopté comme solution de principe dans cette étude.

Cette configuration est présumée pour toute la ligne, sauf là où elle est inapplicable (au-dessus d'une voie ferrée, par exemple) ou serait trop onéreuse (lorsque la fondation requiert des pieux de 40 m, par exemple).

L'élément utilisé pour créer le dégagement recherché entre le terrain ou un obstacle et le dessous de la poutre de guidage est un pilier en forme de A (figure 4-6). Cet élément, qui peut servir indifféremment en courbe ou en alignement droit, coûte $5500 l'unité pour un dégagement de 5 m; le coût des piliers est donc de $ 0,22M/km pour une voie simple et $0,44M/km pour une voie double. Des versions différentes de ce pilier sont utilisées pour des dégagements de 2 m et de 7 m.

Enfin, la conception et le coût des éléments de fondation dépendent des facteurs suivants:

- le dégagement sous la piste, qui influence l'importance des charges verticales (en fonction de la hauteur du pilier) et le moment des forces longitudinales;
- la présence de courbes, auquel cas la fondation doit aussi résister à des charges latérales;
- la nature du sous-sol, qui détermine l'utilisation d'empattements ou de pieux et la longueur de ceux-ci le cas échéant.

Les empattements et les têtes de pieux seront faits de béton armé coulé en place. Les pieux (quatre ou six selon les charges) devront résister à une charge de 500 ou 1000 kN chacun suivant le cas et leur longueur pourra atteindre jusqu'à 40 m, suivant la portance du sol et la profondeur du roc.

Après avoir déterminé une conception préliminaire pour les différents éléments de la structure de guidage et avoir évalué le coût unitaire de chacun, on en a déterminé le nombre en procédant comme suit:

- analyse du tracé (figure 4-1);
- détermination du dégagement sous la poutre en tout point;
- choix du type de pilier suivant le dégagement;
- choix du type de fondation suivant le dégagement, le degré de courbure et la nature du sous-sol.

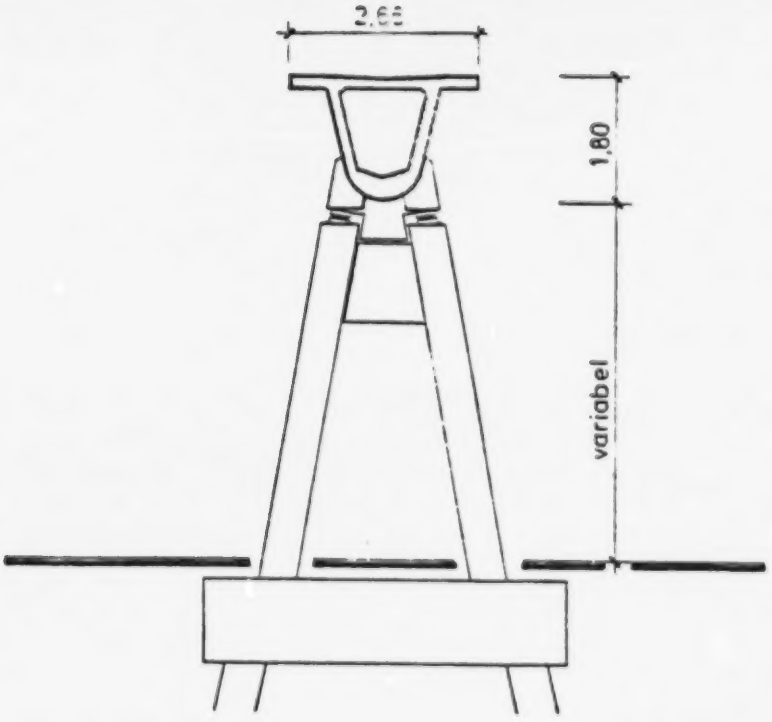


Figure 4-6 Pilier en forme d'A pour piste sur viaduc

Tableau 4-2

Coût de base de la structure de guidage

Dégagement sous la poutre de guidage (longueur)	Type de sous-sol et alignement			
	Roc or gravier		Sable ou argile	
	Droit	Courbe	Droit	Courbe
0 m (8,9 km)	$12,85 M (6,0 km)	$ 0,85 M (0,4 km)	$ 6,43 M (2,5 km)	-
2 m (6,4 km)	$ 3,80 M (1,0 km)	$ 8,93 M (3,0 km)	$ 7,86 M (2,4 km)	-
5 m (152,3 km)	$197,52 M (59,1 km)	$16,10 M (4,5 km)	$338,67 M (87,7 km)	$ 3,22 M (1,0 km)
8,5 m (sur 2 voies) (16,2 km)	$27,62 M (7,7 km)	$ 6,44 M (1,8 km)	$19,66 M (4,9 km)	$ 7,20 M (1,8 km)
8,5 m (sur 3 voies) (5,7 km)	-	-	$28,53 M (5,7 km)	-
Sous-total par type (189,5 km)	$241,79 M (73,8 km)	$32,32 M (9,7 km)	$401,15 M (103,2 km)	$10,42 M (2,8 km)
TOTAL	$ 685,7 M			

Tableau 4-3

Coût total de construction de la structure de guidage

Elément de la structure	Configuration ou dégagement	Longueur (km)	Coût unitaire moyen ($M/kmd.)	Coût total (Can$M,1983)
Poutres et appuis	25 m	189,5	2,00	379,0
Appuis	-	189,5	0,08	15,2
Piliers	2 m	6,4	0,27	1,7
	5 m	152,3	0,47	67,0
Sous-total, Piliers				68,7
Fondations	0 m	8,9	0,20	1,8
	2 m	6,2	0,91	5,8
	5 m	152,3	1,13	171,7
Sous-total, Fondations				179,3
Portiques	2 voies	16,2	1,68	27,2
	3 voies	5,7	2,92	16,7
Sous-total, Portiques				43,9
Croisements ferroviaires	10 u.		0,37 ch.	6,3
Ponts	8 u.		0,79 ch.	3,7
Sous-total, Croisements				10,0
TOTAL DE LA CONSTRUCTION (Can $M, 1983)				696.1

Cette analyse fut effectuée sur la base des données géologiques disponibles sur le sous-sol le long du tracé proposé. Le résultat de cet inventaire est donné au tableau 4-2 avec les coûts de construction correspondants.

Finalement, la traversée des rivières et le croisement dénivelé de voies ferrées furent pris en considération de la façon suivante. Le coût total de la structure étant déjà calculé sans ces particularités (tableau 4-2), on a ajouté pour chaque rivière ou chaque voie ferrée le supplément de coût impliqué par l'utilisation de dégagements plus grands (jusqu'à 15 m en certains cas) et de poutres plus longues (jusqu'à 72 m) que dans le cas normal (viaduc de 5 m).

4.8 Stations

Le terminus montréalais du système serait situé à la gare Windsor. Comme la structure de guidage est élevée dans cette partie du tracé, la station serait construite au-dessus des quais actuels. Le hall serait situé sous les quais du système ou ailleurs dans la gare. Un tout nouvel édifice serait construit pour la station de banlieue. Les quais en seraient aussi construits avec un dégagement de 8,5 m à cause de la proximité de la subdivision Montfort du CN.

La station Mirabel serait construite au rez-de-chaussée de l'aérogare; l'espace nécessaire y est déjà prévu. En provenance de Montréal, la voie verrait son dégagement se réduire progressivement pour pénétrer dans l'édifice en tranchée ouverte. Au sortir de l'aérogare, la voie serait d'abord en tunnel avant de virer et de grimper brusquement pour reprendre sa configuration normale: un dégagement de 5 m. La station d'Ottawa serait implantée dans la gare actuelle de VIA: la voie serait au niveau du sol dans ce secteur.

Lorsque construits en viaduc, les quais seraient recouverts et entourés de murs semi-vitrés pour protéger les voyageurs en attente des intempéries. Le coût de construction des quatre stations est estimé à $7,2 millions.

4.9 Equipements de traction

Le sous-système traction du système magnétique compte quatre principaux éléments:

- un réseau d'alimentation reliant les sous-stations du système magnétique aux réseaux électriques provinciaux;
- des sous-stations transformant le courant électrique reçu pour lui donner les caractéristiques voulues pour l'alimentation traction du système;
- des circuits de connexion distribuant l'énergie électrique des sous-stations aux différentes sections de la piste de circulation;
- un stator actif, qui constitue la partie fixe du moteur linéaire.

Le réseau d'alimentation est fait de lignes de transmission conventionnelles amenant l'énergie électrique du réseau hydro-électrique aux sous-stations du système, placées le long de la voie.

Tableau 4-4

Investissements en alimentation et distribution électriques
pour le système magnétique

Poste	Quantité (Unité spécifiée)	Coût unitaire (selon l'unité)	Coût total (Can $ M, 1983)
RESEAU D'ALIMENTATION *			
Sous-total			$ 0,0 M
SOUS-STATIONS			
pour section d'accélération	4 u.	$ 9,8 M ch.	$ 39,2 M
pour section de vitesse constante	6 u.	$ 6,4 M ch.	$ 38,4 M
Sous-total			$ 77,6 M
CONNEXIONS DE CIRCUITS	185,5 km-d.	$ 0,49 M/km-d.	$ 90,9 M
Sous-total			$ 90,9 M
STATOR Laminations et bobinages en place	193,3 km-d.	$ 1,09 M/km-d.	$ 210,7 M
COUT TOTAL DE CONSTRUCTION ET FABRICATION (Can $M, 1983)			$ 379,2 M

* Le coût du réseau d'alimentation est normalement récupéré par le service public par les frais fixes annuels dans l'alimentation électrique. Ces frais sont fonction de la puissance installée. Dans le cas du système magnétique, compte tenu de l'importance du réseau d'alimentation, une partie de son coût pourrait devoir être imputée directement au système.

Chaque sous-station reçoit le courant électrique triphasé à 115/230 kV, 60 Hz, le transforme à 20 kV, le redresse à 4 à 6 kV c.c., puis, au moyen de convertisseurs statiques, distribue alternativement aux différentes sections de la voie du courant électrique variable en fréquence (0 à 215 Hz) et en tension (0 à 5 kV). Des sous-stations différentes sont utilisées suivant que le véhicule circulera en accélération ou à vitesse constante. Une sous-station d'accélération peut alimenter 11 km de voie double et une sous-station de vitesse constante, 25 km.

Pour effectuer la distribution électrique, chaque segment de voie alimenté par une sous-station donnée est à nouveau subdivisé en sections de 1 000 à 2 000 m de longueur; celles-ci sont alimentées consécutivement depuis la sous-station à laquelle elles sont reliées au moyen de quatre câbles d'une section de cuivre équivalente de 97 mm^2.

Finalement le stator, fixé sous la poutre de guidage, est fait de laminations d'acier et d'enroulements de câbles; il mesure de 180 à 185 mm de largeur et 91,5 mm d'épaisseur.

Les coûts de fabrication et de mise en place du sous-système traction ont été estimés par TransRapid International sur la base d'études antérieures et de l'expérience acquise au centre d'essai d'Emsland. Les estimations furent converties en dollars canadiens en utilisant le taux de change en vigueur en septembre 1983, soit 2,15 DM/$CDN; les résultats sont présentés au tableau 4-4.

4.10 Equipements de contrôle

Le sous-système de contrôle comporte trois éléments principaux:

- des équipements d'automatisme embarqués qui s'assurent que le véhicule ne transgresse pas les consignes de sécurité émises par les équipements fixes montés dans la poutre de guidage;
- un système d'information de voie ayant les mêmes fonctions que les circuits de voie du chemin de fer.
- un poste central de commande ayant les mêmes fonctions que celui du système ferroviaire.

Le contrôle du système magnétique est organisé comme celui du système ferroviaire: des équipements de voie, des équipements embarqués et un poste de commande centralisé sont interreliés pour réaliser les fonctions d'anti-collision, anti-survitesse, protection des itinéraires et télésurveillance.

Les équipements du système d'information sont enfouis dans la piste de guidage; ils transmettent au véhicule les consignes de vitesse et autres informations de sécurité; cette transmission se fait sans contact mécanique entre le véhicule et la voie. Le système d'information est relié à un poste de commande centralisée d'où on surveille toute l'opération.

Tableau 4-5

Investissements en équipements de voie pour le système magnétique

Poste	Quantité (Unité spécifiée)	Coût unitaire (selon l'unité)	Coût total (Can $ M, 1983)
RAILS DE GUIDAGE			
Rails en place	193,3 km-d.	$ 0,56 M/km-d.	$ 108,3 M
AIGUILLAGES			
Communications de voies doubles, haute vitesse	1 u.	$ 7,60 M ch.	$ 7,6 M
Communications de voies doubles, basse vitesse	3 u.	$ 5,00 M ch.	$ 15,0 M
Voie d'évitement	4 u.	$ 1,25 M ch.	$ 5,0 M
Atelier	2 u.	$ 1,25 M ch.	$ 2,5 M
Sous-Total			$ 30,1 M
SYSTEME D'INFORMATION	189,5 km-d.	$ 0,51 M/km-d.	$ 96,6 M
COUT TOTAL DE CONSTRUCTION ET FABRICATION (Can $M, 1983)			$ 235,0 M

Note: Estimation par TransRapid International en DM 1983.
Taux de change en septembre 1983: 2,15 DM/$Can.

Le coût des équipements de contrôle, estimé par TransRapid International, est indiqué au tableau 4-5; le coût des automatismes embarqués est inclus dans celui du véhicule.

4.11 Autres équipements

Les rails de guidage ont une section rectangulaire: 310 mm de hauteur de 36 mm d'épaisseur. Ils sont montés verticalement sur les bords de la poutre de guidage, y ayant été placés par la machine qui place le stator.

Les aiguillages sont essentiellement une poutre de guidage déformable construite en acier: cette poutre est pliée dans la direction voulue par un système hydraulique. La position de l'aiguillage est détectée par des senseurs enclenchés avec le système d'information de voie, pour assurer, en sécurité intrinsèque, la protection des itinéraires.

4.12 Opération et entretien

Une analyse détaillée des procédures, des postes et des effectifs a été réalisée pour déterminer les coûts d'opération du système magnétique. Le nombre de postes à pourvoir a été estimé d'après les exigences de l'exploitation, puis les effectifs requis pour chaque poste ont été évalués. Les salaires furent établis d'après ceux qui sont en vigueur à VIA Rail. Les résultats de cette évaluation sont donnés au tableau 4-6.

Pour évaluer les coûts d'entretien, on ne peut se référer à des procédures connues ou à des coûts observés. Les coûts furent plutôt évalués en se basant sur la corrélation observée entre la vie utile des composantes structurales, mécaniques et électriques des systèmes de transport d'une part et le rapport entre leur coût de construction et de fabrication et le coût annuel de leur entretien d'autre part. Le résultat de cette analyse est donné au tableau 4-7.

Les coûts d'énergie sont estimés à $10,1 millions en 1991; avec l'allongement des rames, ils augmenteraient en 1993 et en 1999.

Tableau 4-6

Coûts d'opération 1991 pour le système ferrovaire

Poste	Effectifs	Salaires directs ($M)	Salaires indirects ($M)	Total ($M)
Agent de conduite	20	1,34	0,24	1,32
Chef de train	20	1,24	0,22	1,22
Agent de bord	60	1,86	0,33	1,84
Coûts salariaux de conduite des rames				4,33
Coûts des fournitures (10%)				0,44
Coût total de conduite des rames				4,82
Directeur de station	4	0,22	0,16	0,38
Chef de station	16	0,83	-	0,83
Sous-chef de station	16	0,64	-	0,64
Personnel de station	138	4,28	-	4,28
Coûts salariaux d'opération des stations				6,13
Coûts des fournitures ($0.80 par passager)				1,03
Coût total d'opération des stations				7,44
Agent de réservation	33	1,02	0,19	1,21
Coûts salariaux du personnel de réservation				1,21
Coûts des fournitures: compris dans celui de l'opération des stations-				
Coût total de réservation				1,21
Directeur des opérations	1	0,06	0,05	0,10
Chef de terminus	10	0,52	-	0,43
Répartiteur	5	0,22	-	0,18
Opérateur	15	0,56	-	0,47
Total				1,18
COUT DIRECT D'OPERATION				14,65
FRAIS GENERAUX ET ADMINISTRATION (8%)				1,17
COUT TOTAL D'OPERATION (Can $M/an, 1983)				15,82

Tableau 4-7

Coûts d'entretien du système magnétique en 1991

SOUS-SYSTEME Composante	Vie utile (années)	Coefficient d'entretien (%)	Coût de construction ($M)	Coût annuel d'entretien ($M/an)
VEHICULES (1991)				
Composantes mécaniques	30	3,0	65,8	1,97
Lévitation et guidage	15	4,7	56,9	2,67
Equipements de traction	15	4,7	5,5	0,26
Equipements de contrôle	10	5,5	5,5	0,31
		(4,7)	111,5	5,21
STRUCTURE DE GUIDAGE				
Poutres	90	0,4	379,0	1,52
Appuis	30	3,0	15,2	0,46
Piliers	90	0,4	68,7	0,27
Fondations	70	0,6	179,3	1,07
Autres structures	90	0,4	53,9	0,22
		(0,5)	696,1	3,54
EQUIPEMENT DE VOIE				
Rails de guidage	60	0,9	108,3	0,97
Aiguillages	30	2,1	30,1	0,63
		(1,2)	138,4	1,60
TRACTION ET CONTROLE				
Sous-stations	40	1,6	77,6	1,24
Connexions de circuits	32	2,0	90,9	1,82
Stator	30	2,1	210,7	4,42
Signalisation	20	2,9	96,6	2,80
Communications	20	2,9	3,5	0,10
		(2,1)	479,3	10,38
EQUIPEMENTS ET EDIFICES				
Stations	40	1,6	7,2	0,11
Atelier d'entretien	40	1,6	4,5	0,07
Equipements d'entretien	40	1,6	5,5	0,09
		(1,6)	17,2	0,27
ADMINISTRATION (8%)				1,68
TOTAL (Can $M, 1983)	-	-	1 442,5	22,68

5.

Analyse financière

5.0 ANALYSE FINANCIERE

L'analyse financière a pour but de comparer les investissements requis pour les deux systèmes et leurs coûts annuels et de déterminer les revenus nécessaires pour contrebalancer ces coûts (et les frais financiers associés) de façon que l'exploitation demeure rentable et solvable. Dans ce chapitre, on compare aussi des variantes optimisées des deux systèmes.

5.1 Comparaison des investissements

Les données sur la configuration et les coûts du système ferroviaire envisagé furent présentées au chapitre 3; les données correspondantes pour le système magnétique furent présentées au chapitre 4. Les coûts de construction données précédemment pour les deux systèmes comprennent tout les sous-systèmes et composantes requis pour que le système puisse être inauguré en service commercial le premier janvier 1991. Ces données sont la base de l'analyse comparative qui suit.

Les estimations de coûts furent présentées en dollars canadiens du milieu de 1983. Pour les estimations préparées par TransRapid International, un taux de change de 2,15 DM/$CDN fut utilisé; c'était le taux en vigueur en septembre 1983.

Les honoraires légaux reliés à l'acquisition de terrains et à la démolition ou à la relocalisation d'édifices pour fins de création d'une emprise pourraient être aussi élevés que le coût du terrain. C'est pourquoi on a prévu pour ces honoraires une réserve égale au coût des acquisitions.

Le coût de la conception du système a été estimé à 1% du coût de construction. Le coût des honoraires professionnels pour les études d'ingéniérie préliminaires et détaillées a été estimé égal à 4% du coût des investissements directs. Le coût de la gérance du projet a aussi été estimé à 4% de ce coût.

On n'a pas estimé le coût du financement du projet; ce coût sera pris en considération dans une étape subséquente de l'analyse financière.

Le coût total des investissements (acquisitions, fabrications, constructions et services) est présenté comparativement pour les deux systèmes au tableau 5-1. Les postes de coût n'y sont pas présentés dans le même ordre qu'aux chapitres 3 et 4, mais ont plutôt été ordonnés pour faciliter l'identification et l'analyse des différences entre les deux systèmes.

Au tableau 5-1, le poste "Acquisition de terrains" comprend l'achat de terrains et la relocalisation d'édifices nécessaires pour créer une nouvelle emprise pour le système; ce poste ne comprend pas la location de sites sur des emprises ferroviaires existantes. Comme le système magnétique utilise une nouvelle emprise pour une plus grande proportion de son tracé (89,5%) que le système ferroviaire (40,2%), le coût d'acquisition de terrains est plus important pour le système magnétique (détails aux tableaux 3-1 et 4-1).

Pour le système magnétique, le poste "Préparation du site" ne comprend que la construction d'une route d'accès, puisque la piste de guidage peut être adaptée aux changements de niveau du terrain en variant la hauteur des piliers. Dans le cas du système ferroviaire, la préparation du site est plus coûteuse, puisqu'elle requiert des opérations de terrassement importantes pour le nivellement et la compaction de la plateforme selon des normes précises.

Dans le cas du système ferroviaire, la préparation des fondations consiste à mettre en place une sous-couche, un sous-ballast et un ballast; cette opération peut être fortement mécanisée. Dans le cas du système magnétique, les fondations doivent être construites individuellement de béton armé; leur construction s'adapte moins bien à la mécanisation. Cet aspect et les faibles tolérances expliquent la différence de coût.

Les piliers du système magnétique sont requis parce que l'on a décidé de surélever la piste de guidage. Quoiqu'elles ne soient pas rigoureusement comparables, les structures d'étagement du système ferroviaire ont une fonction analogue.

Les poutres de guidage et leurs appuis, pour lesquels il n'y a pas d'équivalent ferroviaire, sont directement reliées à la décision d'utiliser une technologie magnétique: comme l'efficacité de la lévitation varie de façon sensible avec l'épaisseur de l'entrefer, on doit utiliser une structure rigide pour maintenir les faibles tolérances qui assurent l'efficacité du système.

Dans le cas du système ferroviaire, la principale structure particulière est un tunnel à Mirabel. Dans le cas du système magnétique, on a considéré comme structures particulières les portiques utilisées pour soutenir la piste lorsqu'elle est construite au-dessus d'une emprise ferroviaire (soit 14,5% de la longueur du tracé). Dans les deux cas, c'est le choix du tracé qui rend nécessaire ces structures particulières.

Les voies ferrées et les rails de guidage ont la même fonction: contrôler la trajectoire du véhicule; la voie ferrée a aussi une fonction de support qui est dévolue aux poutres de guidage dans le système magnétique. Les coûts des deux systèmes ne diffèrent pas beaucoup à ce poste. Les aiguillages du chemin de fer sont plus simples que ceux du système magnétique.

Tableau 5-1

Coûts d'investissement comparatifs
entre le système ferroviaire et magnétique

SOUS-SYSTEME Composante	Coût des investissements (Can $M 1983)		Ratio des coûts (Maglev/Rail)
	Rail	Maglev	
VEHICULES			
Sous-total	94,5	111,5	1,18
INFRASTRUCTURE			
Acquisition de terrains	2,6	12,2	4,69
Préparation du site	53,3	19,4	0,30
Fondations	83,6	179,3	2,14
Piliers	-	68,7	-
Poutres de guidage et appuis	-	379,0	-
Appuis	-	15,2	-
Structures de dénivellation	39,7	-	-
Structures particulières	44,6	47,6	0,94
Ponts et ponceaux	72,5	6,3	0,09
Voie ferrée/rails de guidage	113,3	108,3	0,96
Aiguillages	14,3	30,1	2,10
Sous-total	423,9	866,2	2,04
TRACTION ET CONTROLE			
Alimentation électrique	3,3	168,5	51,06
Distribution électrique	38,9	210,7	5,42
Signalisation	41,1	96,6	2,66
Communications	3,5	3,5	1,00
Sous-total	86,8	479,3	5,53
EQUIPEMENTS			
Stations	3,1	7,2	2,29
Atelier d'entretien	4,5	4,5	1,00
Equipements d'entretien	5,5	5,5	1,00
Sous-total	13,1	17,2	1,30
COUT TOTAL DE CONSTRUCTION	618,3	1474,2	2,38
Honoraires légaux	2,6	12,3	4,35
Conception (1%)	6,2	14,7	2,37
Ingénierie (4%)	24,7	59,0	2,39
Gérance de construction (4%)	24,7	59,0	2,39
Sous-total	58,2	145,0	2,49
COUT TOTAL DES INVESTISSEMENTS	**676,5**	**1619,1**	**2,39**

L'alimentation électrique est faite à partir de sous-stations situées près de la voie dans les deux cas. Dans le système ferroviaire, la perte de tension dans la distribution dicte la taille des sous-stations. Dans le système magnétique, la perte de tension, plus importante, influence aissi le nombre de sous-stations, qui est beaucoup plus élevé. Ces sous-stations sont aussi beaucoup plus complexes à cause de la nature du courant distribué (fréquence et tension variables) et des multiples opérations de conditionnement que cela implique. C'est à ce chapitre que la différence de coût entre les deux systèmes est la plus grande.

Il y a une grande différence aussi dans les coûts de distribution électrique. Ceci est dû au nombre élevé de circuits de connexion reliant les sous-stations aux sections de voie et au stator, dont la technologie de fabrication est avancée, donc coûteuse. Par comparaison, le système ferroviaire tolère mieux les chutes de tension et la conception et la fabrication de la caténaire utilisent des techniques plus répandues.

Les autres différences dans les coûts ne requièrent pas d'explications particulières.

5.2 Comparaison des coûts annuels

Les coûts annuels comportent cinq composantes principales: salaires et fournitures d'opération, main-d'oeuvre et fournitures pour l'entretien, frais de livraison et de consommation d'énergie, location d'édifices et de terrains et frais d'administration. La décomposition en postes est la même pour les deux systèmes.

Les coûts d'opération des deux systèmes en 1991 sont indiqués et comparés au tableau 5-2. Au début, les coûts du système magnétique sont plus bas; c'est relié à la productivité plus élevée du personnel de bord, qui est elle-même associée à la vitesse plus grande du système. Avec le temps et la croissance du trafic, les coûts d'opération du système magnétique dépassent éventuellement ceux du chemin de fer: ceci est relié à la taille des effectifs du personnel de station et de réservation.

Les coûts d'entretien des deux systèmes en 1991 sont donnés et comparés au tableau 5-3. Le rapport entre les coûts d'entretien des deux systèmes est comparable au rapport entre leurs coûts de construction. Cette relation ne change pas beaucoup dans le temps; cependant, il faut être prudent dans les conclusions que l'on tire de cette différence. En effet, alors que les coûts d'entretien du système ferroviaire sont basés sur des coûts observés de matériels analogues, les coûts d'entretien du système magnétique sont basés sur le coût de construction du système et des coéfficients d'entretien reliés à la vie utile des composantes.

Tableau 5-2

Coûts comparatifs d'opération en 1991

FONCTION Item	Coût d'opération ($M 1983 / year)		Explication de la différence
	Rail	Maglev	
EQUIPAGES			
Agents de conduite	2,77	1,32	Durée du tour plus courte du Maglev
Chefs de train	1,53	1,22	"
Agents de bord	3,07	1,84	Rames plus courtes du Maglev
Coût des fournitures (10%)	0,74	0,44	
Sous-total	8,11	4,82	
PERSONNEL DE STATION			
Direction	0,38	0,38	Même nombre de stations
Chefs de station	1,47	1,47	Même nombre de stations
Agents de vente	1,67	2,54	Selon le trafic
Agents de perception	0,50	0,50	-
Bagagistes	0,50	0,50	-
Concierges	0,74	0,74	-
Coût des fournitures	1,03	1,31	Selon le trafic
Sous-total	6,29	7,44	
PERSONNEL DE RESERVATION			
Coût direct	0,81	1,02	Selon le trafic
Coût indirect	0,15	0,19	Selon le trafic
Sous-total	0,96	1,21	
PERSONNEL SYSTEME			
Direction	0,10	0,10	
Maîtrise	0,65	0,43	Changement d'équipage à Mirabel
Répartiteurs	0,18	0,18	
Opérateurs	0,46	0,47	
Sous-total	1,39	1,18	
TOTAL	16,75	14,65	

La plus grande différence dans les coûts annuels concerne le coût de l'énergie: $1,5M/an pour le système ferroviaire et $10,1M/an pour le système magnétique en 1991, la différence croissant dans le temps. Cette grande différence est reliée principalement à la vitesse et à la technologie. Aux grandes vitesses, la trainée aérodynamique est la composante la plus importante de la résistance au mouvement et elle varie avec le carré de la vitesse. Comme le système magnétique circule deux fois plus vite que le système ferroviaire, sa consommation énergétique serait déjà quatre fois plus élevée. De plus, le nombre plus élevé de sous-stations (10 au lieu de 3) augmente le coût de la livraison d'énergie.

La location de terrains s'élève à $3,0M/an pour le système ferroviaire et à $7,8M/an pour le système magnétique; cela semble contradictoire, puisque le chemin de fer utilise bien davantage les emprises ferroviaires existantes. En fait, lorsque son tracé suit une emprise ferroviaire, la structure de guidage du système magnétique est construite au-dessus des voies ferrées et empêche toute autre utilisation des droits aériens; on doit donc louer toute la largeur de l'emprise. Le système ferroviaire, par comparaison, ne requiert qu'un site de 15 m de largeur en bordure de l'emprise. De plus, près du centre-ville, là où la location est la plus onéreuse, les coûts de location de l'emprise dans le tunnel sont partagés entre le chemin de fer rapide et les services de banlieue.

Les frais d'administration des deux systèmes sont semblables. L'évolution dans le temps des composantes des coûts annuels est illustrée à la figure 5-1.

5.3 Coût du billet

L'objectif général de l'analyse financière est de déterminer si un investissement peut être récupéré par la série de revenus annuels qu'il engendre.

Dans le cas présent, on se préoccupe de savoir si les revenus provenant de la vente de billets permettront ce couvrir les dépenses annuelles d'exploitation, l'amortissement des investissements et les divers frais financiers.

Pour étudier cette question, on a utilisé le logiciel MRAIL développé au CIGGT pour des applications analogues. Les résultats de l'analyse se présentent sous la forme d'une prévision du revenu moyen que doit produire la vente d'un passage simple entre Montréal et Ottawa et ce, année par année.

Cet unique paramètre est la moyenne du produit de la vente de tous les billets. En effet, on vendra aussi des billets Montréal-Mirabel, Mirabel-Ottawa, etc. et les prix de vente varieront considérablement dans la pratique.

Tableau 5-3

Coûts comparatifs d'entretien en 1991

SOUS-SYSTEME Composante	Coûts d'entretien ($M 1983 / an)		Explication de la différence
	Rail	Maglev	
VEHICULES			
Sous-total	6,22	5,21	Moins de véhicules pour Maglev
INFRASTRUCTURE			
Fondations	0,15	1,07	Inclus dans voie ferrée
Piliers	-	0,27	Absents du rail
Poutres	-	1,52	Absents du rail
Appuis	-	0,46	-
Autres structures	0,34	0,22	-
Voie ferrée/rails	2,18	1,60	Voie inclus dans foundation
Sous-total	2,67	5,14	
TRACTION ET CONTROLE			
Alimentation électrique	-	3,06	Plus nombreuses Maglevl
Distribution électrique	0,78	4,42	Plus complexes Maglev
Signalisation	0,41	2,80	Technologie
Communication	0,10	0,10	-
Sous-total	1,25	10,38	-
EQUIPMENTS			
Stations	0,40	0,11	-
Atelier	0,75	0,07	Le poste couvre plus
Matériel d'entretien	0,75	0,09	d'items dans le cas du
Sous-total	1,90	0,27	rail
TOTAL	12,04	21,00	

Comme les frais d'amortissement varient dans le temps à mesure que les actifs se déprécient, le prix moyen du billet variera lui aussi (même en excluant l'effet de l'inflation) et, pour chaque année de la période d'analyse, on aura un prix de billet différent. Il y a avantage à faire abstraction de cette variation en utilisant un "prix moyen unique" tel que le prix du billet (en dollars constants) ne varierait pas dans le temps.

Les résultats de cette analyse sont présentés au tableau 5-4. En 1991, le prix moyen du billet est de $68.56 pour le système ferroviaire et de $122.06 pour le système magnétique, un rapport de 178%. Le prix du billet diminue dans le temps, mais le rapport ne change pratiquement pas.

Le "prix moyen unique" pour une période de 20 ans serait de $57.14 pour le chemin de fer et $93.69 pour le système magnétique (en dollars 1983), un rapport de coût de 164%.

5.4 Analyse de sensibilité

L'objectif de cette analyse est d'évaluer jusqu'à quel point la conclusion précédente (à savoir que le prix du billet du système magnétique est 164% de celui du billet de chemin de fer) change en fonction de variations dans les principaux éléments de coûts et paramètres financiers.

Le premier paramètre analysé est le volume du trafic. Comme dans tout système à forte capitalisation, le prix du billet baisse à mesure que le trafic augmente. Si le trafic était deux fois plus élevé que prévu, par exemple, le prix du billet baisserait de 39% pour le système ferroviaire et de 40% pour le système magnétique. L'élasticité des deux systèmes est la même sous ce rapport: des changements comparables (en pourcentage) dans le volume du trafic produisent des réductions comparables (en pourcentage) du prix du billet pour les deux systèmes.

L'inflation a aussi le même effet sur les deux systèmes. Que l'on considère des variations dans l'augmentation générale des prix ou dans l'augmentation du prix de certaines composantes, le rapport entre les prix du billet se maintient à près de 175%. Cela est dû au fait que les coûts des deux systèmes ont des structures semblables.

Comme les deux systèmes ont des degrés comparables de capitalisation, ils affichent le même changement du prix du billet pour une variation donnée du taux d'intérêt. Cependant, les deux systèmes n'auraient pas nécessairement accès aux mêmes facilités de financement. Les financiers jugeraient probablement que le système magnétique, avec sa technologie moins éprouvée et son infrastructure coûteuse (pour laquelle on ne connait pas d'utilisation alternative) constitue un risque financier plus grand que le système ferroviaire. En conséquence, le taux d'intérêt pourrait être plus élevé pour le système magnétique, qui aussi serait plus vulnérable aux changements dans ce domaine.

5.5 Systèmes optimisés

Jusqu'à maintenant, on a analysé deux systèmes dits de base, dont on a supposé au départ qu'ils auraient une voie double. Cela était une hypothèse de départ acceptable. En effet, lorsqu'on construira un tel système au Canada, on le fera sans doute entre Montréal et Toronto via Ottawa. Le trafic sur cette relation justifierait sans doute une voie double.

Quand on compare des coûts et des revenus, cependant, comme on le fait dans cette analyse financière, il est plus logique de considérer seulement les coûts requis pour offrir le service dont on tirera les revenus considérés. Et, effectivement, on n'a pas besoin d'une voie double pour la seule relation Montréal-Ottawa.

Un système ferroviaire optimisé compterait 297 km de voie ferrée simple équivalente plutôt que 418: la voie serait simple, sauf sur deux sections de 20 km pour les rencontres et sur l'île de Montréal. Le coût des matériaux et de la construction de la voie, de la caténaire et des équipements fixes de signalisation serait réduit dans la proportion des longueurs de voie. Par contre, l'acquisition d'emprises, la préparation de la plateforme, la construction des structures et des stations seraient faites dès le départ en prévision d'une voie double. Un chemin de fer à voie simple coûterait $564,6M plutôt que $676,5M à construire, une réduction de coût de 16,5%.

Un système magnétique optimisé ne compterait que 224,5 km de voie simple équivalente plutôt que 379,0 km: une seule section double de 25 km pour les rencontres et deux sections doubles de 5 km près des terminus. Le coût de la structure de guidage et de ses équipements (sauf celui des portiques au-dessus des voies ferrées) sera réduit dans la proportion des longueurs de voie. L'acquisition d'emprises, la préparation du site, les fondations et piliers des ponts et la construction des stations se feraient pour un système à voie double. Un système magnétique à voie simple coûterait $1095,8M plutôt que $1619,1M, une réduction de 32,3%.

Les coûts annuels ne changeraient pas, sauf pour l'entretien de l'infrastructure. Le rapport entre les "prix moyens uniques" des billets passerait de 164% à 135%. Cela implique que le degré de surdimensionnement était plus grand dans le cas du système magnétique. C'est aussi relié à la technologie: a cause de sa plus grande vitesse, le système magnétique ne requiert qu'une section de voie double pour les rencontres.

6.

Évaluation des impacts

6. EVALUATION DES IMPACTS

Pour fins d'évaluation, les impacts suivants, qui résultent de la mise en place d'un système de transport grande vitesse ou de son exploitation, furent étudiés:

- les risques techniques;
- les impacts énergétiques, reliés à la vitesse et à la technologie;
- les impacts socio-économiques;
- les impacts esthétiques et écologiques;

l'évaluation ayant toujours pour but d'identifier les différences entre les deux systèmes.

On doit évaluer les risques techniques, car des difficultés de cet ordre pourraient retarder la mise en service du système ou en réduire la disponibilité. Ces risques sont plus grands dans le cas du système magnétique, qui n'a pas encore été mis en service commercial. Dans ce cas, les facteurs d'incertitude concernent les modifications qu'on apportera au système à mesure que progressent les essais à Emsland (une possibilité de réduction des coûts) et l'adaptation éventuelle de cette technologie à l'exploitation sous les conditions hivernales canadiennes; une telle adaptation constitue un problème pour le système ferroviaire également.

Trois aspects des impacts énergétiques doivent être considérés: la consommation répétée d'énergie dite "directe" pour fins de traction; la consommation d'énergie "indirecte" pour la mise en oeuvre du système et annuellement pour d'autres fins que la traction, ainsi que les économies d'énergie résultant de changements dans la répartition modale. A cause de sa technologie et de sa plus grande vitesse, le système magnétique consomme plus d'énergie directe. Sa consommation d'énergie indirecte est aussi plus élevée. Finalement, grâce à sa vitesse, ce système attirera plus d'automobilistes et réduira davantage la consommation d'hydrocarbures. Au total cependant, les impacts énergétiques ne constituent pas un facteur discriminant entre ces deux technologies.

Le bruit et l'intrusion visuelle semblent prendre davantage d'importance. A vitesse réduite en milieu urbain, le système ferroviaire sera plus bruyant à cause des frottements mécaniques dans ses organes de roulement. En milieu rural, le système magnétique sera plus bruyant à cause de la friction aérodynamique plus grande résultant de sa vitesse plus élevée. Dans un cas comme dans l'autre, la nuisance ne sera vraisemblablement pas significative.

Les impacts visuels sont dûs principalement à la présence de l'infrastructure. Lorsqu'il est construit sur viaduc, le système magnétique causera plus d'impacts visuels en milieu urbain et moins d'effets de rupture en milieu rural. Ces problèmes sont discutés plus en détail ci-dessous.

En cours d'étude, l'analyse de tracés pour les deux systèmes fut faite sur des cartes à grande échelle; cette opération a fourni une bonne occasion d'étudier ces impacts dans divers contextes représentatifs. Cette évaluation fut facilitée par la disponibilité de nombreuses études antérieures et l'expérience approfondie qu'avaient du territoire de l'étude les responsables du projet. Les études de choix de tracés ont permis les constatations qui suivent.

En présentant ces observations, on tente de répondre aux questions suivantes. Peut-on insérer des couloirs grande vitesse? Comment? Quels en sont les impacts? On a d'abord étudié la possibilité de réutiliser ou partager des emprises existantes, puis les problèmes reliés à la création de nouvelles emprises. Ceci, séparément pour les milieux urbain et rural.

L'utilisation d'emprises existantes pour le transport terrestre à grande vitesse apparaît facile à première vue et avantageuse. Dans le territoire étudié, on compte un grand nombre d'emprises ferroviaires, dont la plupart sont présentement sous-utilisées: ces emprises ont généralement 30 m de largeur et ne comptent qu'une voie ferrée alors qu'il y a de la place pour cinq, peut-être même six.

Dans le cas du système ferroviaire, l'utilisation de telles emprises ne pose aucun problème technique ou d'exploitation. Pour un service grande vitesse, on placerait une voie double exclusive en bordure de l'emprise, du côté où les dessertes industrielles sont moins nombreuses (on pourrait toujours les desservir au moyen de croisements à niveau adéquatement protégés). Si l'emprise est trop étroite, le service grande vitesse pourrait partager les voies avec les services ferroviaires conventionnels, ou circuler en voie simple exclusive; ce serait pour une courte distance et au risque d'une certaine dégradation du niveau de service: l'enclenchement des deux signalisations assurerait la sécurité de l'opération conjointe.

L'ajout de deux voies ferrées dans une emprise ferroviaire en milieu urbain passerait inaperçu. Il n'en serait peut-être pas de même en milieu rural, sans doute pas entre Montréal et Ottawa, en tout cas. En effet, dans ce secteur, les emprises existantes traversent un grand nombre d'exploitations agricoles. Avec le trafic ferroviaire minimal qui prévaut aujourd'hui, les fermiers font comme s'il n'y avait pas de voie ferrée. Mais cela changera nettement le jour où on inaugurera un service grande vitesse fréquent. On pourrait devoir clôturer l'emprises, ce qui bloquerait le passage aux fermiers, à leurs troupeaux et à leur machinerie. L'effet de rupture du milieu serait marqué et on devrait prendre des mesures pour le diminuer. On a analysé brièvement de telles mesures sans trouver de solution qui soit à la fois simple, peu coûteuse et pleinement satisfaisante.

L'insertion d'un système magnétique dans une emprise ferroviaire est encore plus difficile. Une voie double, à niveau, prendrait la moitié de la largeur de l'emprise et bloquerait l'accès à tout un côté. Il ne resterait peut-être plus assez d'espace pour le traffic normal et la desserte des industries.

On a préconisé une solution différente dans la présente étude: la construction de la voie magnétique sur viaduc au-dessus des voies ferrées. Les poutres de guidage seraient supportés par des portiques de béton armé placés en travers de l'emprise. D'une portée 12 ou 18 m, ces portiques laisseraient un dégagement suffisant pour deux ou trois voies ferrées. Evidemment, la présence d'un viaduc exerce un impact visuel important. Cependant, les emprises ferroviaires en milieu urbain traversent souvent des secteurs industriels plutôt que résidentiels, ce qui amoindrirait cet impact.

L'utilisation d'emprises d'autoroutes a aussi été étudiée. A première vue, cela semble une solution susceptible de favoriser des impacts physiques et des effets de rupture moins importants. De plus, plusieurs autoroutes nord-américaines sont construites avec un terre-plein central large, qui pourrait loger un système de transport à grande vitesse.

Cette solution séduisante n'est pas réalisable facilement, hélas. En effet, à supposer que le terre-plein soit assez large, les structures de dénivellation actuelles devront être reconstruites; on devra repenser le drainage et l'enlèvement de la neige (que les terre-pleins servent à accumuler). En milieu rural, cette approche est sans doute faisable, compte tenu du nombre restreint de structures de dénivellation. En milieu urbain, le terre-plein n'est pas toujours assez large; l'accès à l'autoroute impliquera la construction d'ouvrages très importants. Dans ce cas donc, l'utilisation des autoroutes se décidera en fonction de facteurs économiques principalement. De plus, dans l'application étudiée, on n'a trouvé aucune autoroute dont le tracé convenait à la desserte envisagée.

La création d'une nouvelle emprise en milieu urbain constitue aujourd'hui une solution de dernier ressort, tant à cause des coûts excessifs que des impacts très importants. Dans l'étude, on n'a pas eu à recourir à une telle solution; si on avait eu à le faire, on aurait dû envisager une construction souterraine. Ceci étant, une telle approche serait plus onéreuse pour le système magnétique à cause de son gabarit plus large.

La création d'une nouvelle emprise en milieu rural est moins problématique. Les coûts d'acquisition y sont plus bas et, parce que l'utilisation du sol est moins intensive, les divers impacts sont moins ressentis. On doit cependant étudier les effets de rupture du milieu. A cet égard, le système magnétique permet plus de souplesse dans le choix du tracé, puisqu'en le construisant sur viaduc, on évite de créer une barrière.

En résumé, donc, l'insertion de couloirs grande vitesse dans le milieu y créera des impacts défavorables: intrusion visuelle, bruit, rupture du milieu, etc. C'est dans le cas d'un système ferroviaire inséré au sol dans une emprise ferroviaire existante que ces impacts seront les moins importants, en milieu urbain du moins; en milieu rural, cette solution perd de son attrait puisque l'emprise doit être clôturée et devient une barrière pouvant avoir un effet important de rupture du milieu. Un système magnétique pourrait difficilement être construit au sol dans une emprise ferroviaire; on le construirait plutôt sur viaduc au-dessus des voies ferrées.

La création d'une nouvelle emprise en milieu urbain développé devra sans doute se faire sous terre et sera fort onéreuse; à cause de son gabarit plus étroit, le système ferroviaire présente un avantage de coût dans ce cas. La création d'une nouvelle emprise en milieu rural pourra avoir moins d'impacts si la voie est surélevée; dans ce cas, le système magnétique est plus avantageux: il peut être surélevé à moindre coût qu'une voie ferrée conventionnelle.